

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-42433

(P2001-42433A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テマコード <sup>*</sup> (参考) |
|---------------------------|-------|---------------|-------------------------|
| G 0 3 B 21/14             |       | G 0 3 B 21/14 | A                       |
| F 2 1 V 8/00              |       | F 2 1 V 8/00  | L                       |
| G 0 2 B 6/00              | 3 3 1 | G 0 2 B 6/00  | 3 3 1                   |
| 6/42                      |       | 6/42          |                         |
| 13/00                     |       | 13/00         |                         |

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 62 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-172666(P2000-172666)

(22) 出願日 平成12年6月8日(2000.6.8)

(31) 優先権主張番号 P C T / U S 9 9 / 1 2 6 2 7

(32) 優先日 平成11年6月8日(1999.6.8)

(33) 優先権主張国 世界知的所有権機関 (WO)

(31) 優先権主張番号 0 9 / 3 2 8 2 5 6

(32) 優先日 平成11年6月8日(1999.6.8)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500270066

ストロブル, カールハインツ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 11777,

ポート ジェファーソン, ウインドワード

コート エヌ. 236

(72) 発明者 ストロブル, カールハインツ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 11777,

ポート ジェファーソン, ウインドワード

コート エヌ. 236

(74) 代理人 100083932

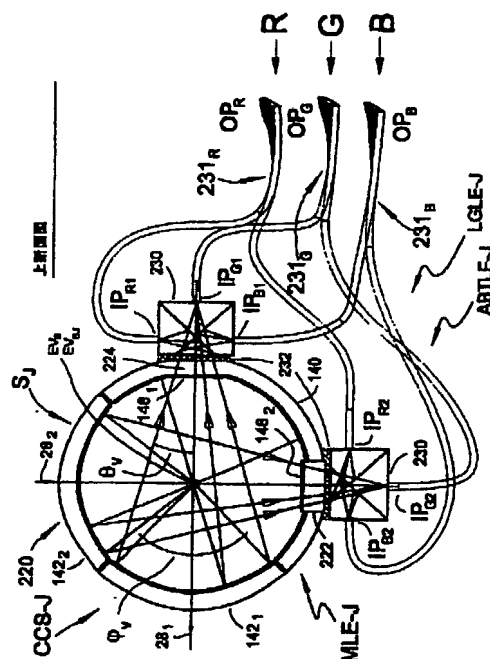
弁理士 廣江 武典

(54) 【発明の名称】 高性能光エンジンシステム、その構成要素、並びにその製造方法

(57) 【要約】

【課題】角度的、空間的に非対称に広げた放出源の様々な形態に対して、ビームの領域と角度を面積効率よく再変換するシステムを提供すること。

【解決手段】このシステムは、角度的、空間的に軸非対称な出射ビームを創出し、その中に、必要に応じて色再変換機能を組み込むこともできる。非対称ビームなどのアナモルフィックビーム変換器によって、所定の照射目標の特定の照射要件に空間的、角度的に適合するように、さらに再変換することもできる。さらに、このシステムは、光ファイバ照射システムや投写型表示システムの設計に適用することもでき、さらに伝達効率を最大化するという考え方と組み合わせることもできる。さらに、最適化されたランプ、反射体、集束器、アナモルフィックビーム変換器、カップリング光学システムなどを用いて、光エンジンの伝達効率を改善することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ガス放電ランプ(gas discharge lamp)の効率的なエネルギー伝達と同時に、面積 (エテンデュ:c tendue) 効率のよい領域と角度の再変換(reformatting)を行う小型光エンジン (MLE) であって、逆反射体システム(retro-reflector system)と、システム軸を定義する第一焦点 F 1 と第二焦点 F 2 を備えた主 (プライマリ:primary) 反射体システムと、励起可能なガスを封入する気密性半透明容器 (エンベロープ) において、前記ガスの少なくとも 1 つの空間的に広がった半透明領域を創出して励起し、前記容器を介して、ランプシステムから電磁エネルギーを放出する放出源 S を形成し、前記放出源 S の長軸を放出源の軸として定義するガス放電ランプシステムとを有し、前記放出源の軸が、前記光学システム軸と実質的に直交するように配置し、前記放出源 S を、前記焦点 F 1 近傍に配置し、前記放出源 S が、少なくとも 1 つの所定の波長領域において、所定の放出面積関数(emission etendue function)  $E_s(p)$  を有し、 $p$  が、前記所定の波長領域において、前記ランプシステムが放出した全放出エネルギーの割合を表し、前記逆反射体システムが、出射ポートと、少なくとも 1 つの主凹面逆反射体を有し、前記逆反射体系が、前記放出源 S から放出させた前記エネルギーの一部を、前記放出源 S 近傍の前記ランプシステムに集束させて逆反射し、前記放出源 S と前記逆反射体系の組合せが、有効逆反射放出源  $S_r$  を形成し、前記放出源  $S_r$  が、前記光学システム軸に直交し、前記放出源の軸を含む面で、所定の空間依存放出強度分布(spatial dependent emission intensity distribution)  $S_I(x, y; S_r)$  を有し、前記主反射体システムが、少なくとも 1 つの凹面反射体を有し、前記主反射体システムが、前記放出源  $S_r$  から放出させたエネルギーの一部を集束させて反射し、前記反射エネルギーの主要部分を、前記焦点 F 2 近傍の前記容器の周りにほぼ対称に集束させ、焦点 F 2 近傍に、前記光学システム軸に直交する所定の空間依存強度分布  $S_I(x, y; S')$  を有する第二 (セカンダリ:secondary) 放出源  $S'$  を形成し、前記放出源 S と前記第二放出源  $S'$  が、前記所定の焦点 F 1、F 2 の近傍で、前記放出源の軸を含み、前記光学システムの軸に直交する面で非対称な、所定の角度依存放出エネルギー密度関数  $A_I(\phi, \Psi; S)$ 、 $A_I(\phi, \Psi; S')$  を有し、空間的、角度的に非対称で面積効率よく再変換した出射ビームを創出し、前記主反射システムと前記逆反射システムと前記出射ポートの、湾曲、スペクトル的な反射性と透過性、範囲を、前記第二放出源  $S'$  に対する少なくとも 1 つの前記所定の波長領域における有効エネルギー伝達に対して選択し、前記空間非対称強度分布  $S_I(x, y; S')$

が、前記放出源の軸に実質的に平行な長軸を有し、前記強度分布  $S_I(x, y; S_r)$  の準結像倍率(quasi-imaging magnification)となり、前記出射ポートを介して、前記逆反射体システムから出射されるビームが、前記所定の波長領域において、第二放出源面積関数  $E_{s'}(p)$  を有し、前記関数  $E_{s'}(p)$  を、少なくとも一つの前記  $p$  値について、前記放出源面積関数  $E_s(p)$  を最小でも越えるように増大させた MLE。

【請求項 2】 前記ランプシステムが、AC ガス放電アークランプ、DC ガス放電アークランプ、単一容器ランプ、二重容器ランプ、無電極、マイクロ波駆動、壁安定化ランプからなる集合体から選択したランプを有し、前記ガスを、Hg、Hg<sub>2</sub>、Xe、Ar、Kr、金属ハライド塩蒸気および周期律表のハロゲン族の元素を含む分子からなる集合体から選択し、前記主反射体系を、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記逆反射体系の構成要素を、球面、トロイダル、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記主反射体系の前記準結像倍率が、1.5 から 5 までの間の値を有する請求項 1 記載の MLE。

【請求項 3】 前記容器が、光学的ビーム方向変換特性を有し、前記逆反射体システムの非球面の、基本的な球面形状からの偏差が、前記光学的ビーム方向変換特性の一部を補正し、前記主反射体システムの非軸対称性の、基本的な軸対称楕円形状からの偏差が、前記光学的ビーム方向変換特性の少なくとも一部を補正し、前記非球面偏差と前記非軸対称偏差が、前記空間依存放出強度分布  $S_I(x, y; S')$  の空間的な広がりを低減する請求項 1 記載の MLE。

【請求項 4】 少なくとも一つの前記凹面反射体が、主反射体部と、主曲率半径が  $R_1 < R_0$  である少なくとも一つの補助凹面逆反射体部を有し、 $R_0$  が前記凹面逆反射体の主曲率半径であって、前記主凹面逆反射体と少なくとも一つの前記補助逆反射体部を、前記ランプシステムに対して互いに対向させて配置し、少なくとも一つの前記補助凹面逆反射体部が、前記放出源 S から集束させたエネルギーの一部を反射して、前記放出源 S に戻す請求項 1 記載の MLE。

【請求項 5】 前記逆反射体システムが、第一出射開口部を備え、主曲率半径が  $R_0$  である前記凹面逆反射体と、少なくとも 1 つの  $i$  番目の第二出射開口部を備え、主曲率半径が  $R_2$ 、 $i > R_0$  である少なくとも 1 つの  $i$  番目の補助凹面逆反射体部を有し、前記主逆反射体と少なくとも 1 つの前記  $i$  番目の逆反射体を、前記主反射体システムで前記ランプシステムに対して対向させて配置し、前記放出源 S から直接出射され、前記第一出射開口部を通過した前記エネルギーの一部を、少なくとも 1 つの前記  $i$  番目の補助凹面逆反射体で集束させて、前記放出源 S の近傍に逆反射し、少なくとも 1 つの前記  $i$  番目の第二出射開口部を介して、前記主反射体システムで集

束させた電磁エネルギーの一部が前記 MLE を出射し、前記出射ポートが、前記第一出射開口部と少なくとも 1 つの前記 i 番目の第二出射開口部を有する請求項 1 記載の MLE。

【請求項 6】 少なくとも 1 つの補助凹面逆反射体部と、前記逆反射体システムの少なくとも 1 つの反射小部の組合せが、結合反射型リングキャビティを構成し、前記放出源 S が、前記反射型リングキャビティの焦点に実質的に配置される請求項 4 記載の MLE。

【請求項 7】 前記出射ポートを通過するエネルギー・スペクトルが、前記逆反射体システムで逆反射した電磁エネルギーの電磁エネルギー材料間相互作用によって、少なくとも 1 つの波長帯域で相対的な利得を有し、前記ランプシステムのみから放出される前記エネルギーのスペクトルを越える容器に、前記ガスが封入されている請求項 1 記載の MLE。

【請求項 8】 前記容器に封入した前記ガスの少なくとも 1 つの成分が、前記電磁エネルギー材料間相互作用と共に、カラー画像投写表示用途のバランスのとれた赤、緑、青色の帯域を生じるスペクトル的により有用なエネルギービームを創出する請求項 7 記載の MLE。

【請求項 9】 前記容器が、反射防止膜を有する請求項 1 記載の MLE。

【請求項 10】 前記容器が、各端部と中央容器部にシール部を備えたランプポストを有し、前記シール部を所定の温度未満に冷却でき、前記中央容器部を、前記所定の温度より実質的に高い所定の温度範囲内にして動作でき、前記主反射体システムと前記逆反射体システムが、前記容器部と前記シール部の間に熱的な分離状態を提供するキャビティを構成し、前記シール部の温度を前記所定の温度未満とし、前記中央容器部を、前記所定の温度範囲内にして動作できるようにする請求項 1 記載の MLE。

【請求項 11】 前記主反射体システムが、前記焦点 F2 近傍のエネルギー集束面において、最小面積損失で、空間的により均一な強度プロファイルを実現できるような小面を形成した表面形状を有する請求項 1 記載の MLE。

【請求項 12】 プラズマアークを囲む密閉型反射ランプであって、主反射体システム、逆反射体システム、少なくとも一つの i 番目の出射窓を有し、励起ガスを封入する密閉型光学システムと、

2 つの対向する電極の先端の間で前記ガスを励起し、前記先端が、放出源の軸を定義し、半透明で空間的に広がったプラズマ領域を励起し、前記電極先端の対向する端部の間の少なくとも 1 つの場所から、空間的、角度的に非対称に電磁エネルギーを放出する放出源 S を形成する手段を有し、

前記主反射体システムが、第一焦点 F1 と、少なくとも

1 つの i 番目の光学システム軸を定義する i 番目の第二焦点 F2、i を有し、

前記放出源 S を、前記第一焦点 F1 近傍に配置し、前記放出源の軸が、少なくとも 1 つの前記 i 番目の光学システム軸と実質的に直交するように配置し、

前記逆反射体システムが、少なくとも 1 つの前記 i 番目の出射窓で密閉された少なくとも 1 つの i 番目の出射ポートと、少なくとも 1 つの凹面逆反射体を有し、前記逆反射体システムが、前記放出源 S から放出させた前記エネルギーの一部を集束させて、前記放出源 S に逆反射し、前記光源 S と前記逆反射体システムを組み合わせ、有効逆反射放出源 S<sub>r</sub> を形成し、前記放出源 S<sub>r</sub> が、前記放出源の軸を含み、前記光学システム軸に直交する面で、所定の空間依存放出強度分布 S I (x, y; S<sub>r</sub>) を有し、

前記主反射体システムが、少なくとも 1 つの凹面反射体を有し、前記主反射体システムが、前記放出源 S<sub>r</sub> から放出させたエネルギーの一部を集束させて反射し、前記電極の周りで集束させた前記電磁エネルギーの主要部分を、少なくとも 1 つの前記第二焦点 F2、i の近傍の少なくとも 1 つの前記 i 番目の出射窓を介して集中させ、少なくとも 1 つの i 番目の第二放出源 S' i を形成し、前記放出源 S' i が、少なくとも 1 つの前記第二焦点 F2、i の近傍で、前記 i 番目の光学システム軸に直交する所定の空間依存強度分布 S I (x, y; S' i) を有し、

前記主反射体システムと逆反射体システムと少なくとも 1 つの i 番目の出射ポートの、湾曲と範囲を選択して、強度分布 S I (x, y; S' i) を有する少なくとも 1 つの第二放出源 S' i を形成し、前記強度分布 S I (x, y; S' i) が、前記強度分布 S I (x, y; S<sub>r</sub>) の準結像倍率となる密閉型反射ランプ。

【請求項 13】 前記主反射体システムと逆反射体システムと窓を、石英、サファイア、ガラス、金属および熱伝導性セラミック材料からなる集合体から選択的に形成し、前記励起ガスの主成分が Xe であり、前記プラズマ放出領域を、互いに対向する 2 つのタングステン含有電極によって局所化し、前記電極が、前記反射体本体を貫通する気密性、導電性、熱伝導性シール部を有し、前記主反射体系が、対称軸として前記 i 番目の光学システム軸を有する軸対称楕円からなる部分を有し、前記主逆反射体が、対称軸として前記放出源の軸を有し、球形、トロイダル、楕円形および非球面トロイダル反射体からなる集合体から選択され、前記主反射体システムの前記準結像倍率が、1.5 から 5 の間の値であり、前記主反射体システムが、単一軸系と二軸系からなる集合体から選択される請求項 12 記載の密閉型反射ランプ。

【請求項 14】 投写型光エンジン (PLE) であって、

電磁エネルギー放出源 S を有するガス放電ランプから放

出させた電磁エネルギーを集束させ、前記集束エネルギーの一部を集中させて、空間的、角度的に再変換した所定の第二放出源  $S'$  を形成する準結像小型光エンジン (MLE) と、

少なくとも 1 つの構造化可能な画素を有し、少なくとも 1 つの出射ビームを処理する構造化可能な照射目標と、前記第二放出源  $S'$  から出射させた電磁エネルギーの一部を集束させて、構造化可能な前記照射目標に照射ビームを送るカップリング光学システムと構造化可能な前記照射目標で処理した少なくとも 1 つの出射ビームの一部

を集束させ、集束させた前記出射ビームを、離れた目標に構造化可能な照射目標の拡大画像に変換する投写光学システムを有し、

前記 MLE が逆反射体システムと、

光学システム軸を定義する第一焦点  $F_1$  と第二焦点  $F_2$  を有する主反射体システムと、

励起ガスを封入する気密性半透明容器と、前記ガスの少なくとも 1 つの空間的に広がった半透明領域を形成し励起する手段を有し、前記ランプシステムから前記容器を介して、電磁エネルギーを出射する前記放出源  $S$  を形成し、前記放出源  $S$  の長軸が放出源の軸を定義するガス放電ランプシステムを有し、

前記放出源の軸が、前記光学システム軸と実質的に直交するように配置し、前記放出源  $S$  を、前記焦点  $F_1$  近傍に配置し、

前記逆反射系が、出射ポートと少なくとも 1 つの主凹面逆反射体を有し、前記逆反射体システムが、前記放出源  $S$  から放出された前記エネルギーの一部を集束させ、前記放出源  $S$  の近傍の前記ランプシステムに逆反射し、前記放出源  $S$  と前記逆反射体システムの組合せが、前記放出源  $S$  の放出空間より、実質的に小さな立体角の空間に放出する有効逆反射放出源  $S_r$  を形成し、前記放出源  $S_r$  が、前記放出源の軸を含み、前記光学システム軸と直交する面に、所定の空間依存放出強度分布  $S_I(x, y; S_r)$  を有し、

前記主反射体システムが、少なくとも 1 つの凹面反射体を有し、前記主反射体システムが、前記放出源  $S_r$  から出射されたエネルギーの一部を集束させて反射し、前記焦点  $F_2$  近傍の前記容器の周りにほぼ対称的に、前記反射エネルギーの主要部分を集中させ、焦点  $F_2$  近傍に、前記光学システム軸と直交する所定の空間依存強度分布  $S_I(x, y; S')$  を有する前記第二放出源  $S'$  を形成し、

前記放出源  $S$  と前記第二放出源  $S'$  が、前記焦点  $F_1$  と、前記光学システム軸と直交し、前記放出源の軸を含む平面内で非対称な焦点  $F_2$  に各々、所定の角度依存放出エネルギー密度関数  $A_I(\phi, \Psi; S)$ 、 $A_I(\phi, \Psi; S')$  を有し、空間的、角度的に非対称で面積効率よく再変換した出射ビームを形成し、

前記主反射体システム、前記逆反射体システム、前記出

射ポートの湾曲と広がりを選択して、前記空間非対称強度分布  $S_I(x, y; S')$  が、前記放出源の軸と実質的に平行な長軸を有し、前記強度分布  $S_I(x, y; S_r)$  の準結像倍率となるようにする PLE。

【請求項 15】 前記ランプシステムが、AC ガス放電アークランプ、DC ガス放電アークランプ、単一容器ランプ、二重容器ランプ、無電極、マイクロ波駆動、壁安定化ランプからなる集まりから選択したランプを有し、前記ガスを、Hg、Hg<sub>2</sub>、Xe、Ar、Kr、金属ハライド塩蒸気および周期律表のハロゲン族の元素を含む分子からなる集合体から選択し、前記主反射体システムを、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記逆反射体システムの構成要素を、球面、トロイダル、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記主反射体システムの前記準結像倍率が、1.5 から 5 までの間の値を有し、前記構造化可能な照射目標を、反射型ライトバルブ、透過型ライトバルブ、液晶表示装置、DMD、TMA、スライド、単一フレームの映写機、反射型画像および半透明画像からなる集合体から選択し、前記カップリング光学システムが、対称ビーム変換器、非対称ビーム変換器、結像領域/角度変換器、非結像領域/角度変換器、非領域再変換光ガイドおよび領域再変換光ガイドからなる集合体から選択した光学素子を有する請求項 14 記載の PLE。

【請求項 16】 導光型光エンジン (LGLE) であって、

電磁エネルギー放出源  $S$  を有するガス放電ランプから出射された電磁エネルギーを集束させ、前記集束エネルギーの一部を集中させて、空間的、角度的に再変換した修正の第二放出源  $S'$  を形成する準結像小型光エンジン (MLE) と、

少なくとも 1 つの入射ポートと少なくとも 1 つの出射ポートを有し、少なくとも 1 つの前記入射ポートが、前記第二放出源  $S'$  から放出された電磁エネルギーを集束させ、前記集束エネルギーの一部を、少なくとも 1 つの前記出射ポートに送る光ガイドを有し、

前記 MLE が、

逆反射体システムと、

光学システム軸を定義する第一焦点  $F_1$  と第二焦点  $F_2$  を有する主反射体システムと、

励起ガスを封入する気密性半透明容器と、前記ガスの少なくとも 1 つの空間的に広がった半透明領域を形成し励起する手段を有し、前記ランプシステムから前記容器を介して、電磁エネルギーを出射する前記放出源  $S$  を形成し、前記放出源  $S$  の長軸が放出源の軸を定義するガス放電ランプシステムを有し、

前記放出源の軸が、前記光学システム軸と実質的に直交するように配置し、前記放出源  $S$  を、前記焦点  $F_1$  近傍に配置し、

前記逆反射体システムが、出射ポートと少なくとも 1 つ

の主凹面逆反射体を有し、前記逆反射体システムが、前記放出源 S から放出された前記エネルギーの一部を集束させ、前記放出源 S の近傍の前記ランプシステムに逆反射し、前記放出源 S と前記逆反射体システムの組合せが、前記放出源 S の放出空間より、実質的に小さな立体角の空間に放出する有効逆反射放出源 S<sub>r</sub> を形成し、前記放出源 S<sub>r</sub> が、前記放出源の軸を含み、前記光学システム軸と直交する面に、所定の空間依存放出強度分布 S I (x, y; S<sub>r</sub>) を有し、

前記主反射体システムが、少なくとも 1 つの凹面反射体を有し、前記主反射体システムが、前記放出源 S<sub>r</sub> から出射されたエネルギーの一部を集束させて反射し、前記焦点 F 2 近傍の前記容器の周りにほぼ対称的に、前記反射エネルギーの主要部分を集中させ、焦点 F 2 近傍に、前記光学システム軸と直交する所定の空間依存強度分布 S I (x, y; S') を有する前記第二放出源 S' を形成し、

前記放出源 S と前記第二放出源 S' が、前記焦点 F 1 と、前記光学システム軸と直交し、前記放出源の軸を含む平面内で非対称な焦点 F 2 に各々、所定の角度依存放出エネルギー密度関数 A I (φ, Ψ; S)、A I (φ, Ψ; S') を有し、空間的、角度的に非対称で面積効率よく再変換した出射ビームを形成し、

前記主反射体システム、前記逆反射体システム、前記出射ポートの湾曲と範囲を選択して、前記空間非対称強度分布 S I (x, y; S') が、前記放出源の軸と実質的に平行な長軸を有し、前記強度分布 S I (x, y; S<sub>r</sub>) の準結像倍率となるようにする L G L E。

【請求項 17】 前記ランプシステムが、AC ガス放電アークランプ、DC ガス放電アークランプ、単一容器ランプ、二重容器ランプ、無電極、マイクロ波駆動、壁安定化ランプからなる集合体から選択したランプを有し、前記ガスを、Hg、Hg<sub>2</sub>、Xe、Ar、Kr、金属ハライド塩蒸気および周期律表のハロゲン族の元素を含む分子からなる集合体から選択し、前記主反射体システムを、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記逆反射体システムの構成要素を、球面、トロイダル、楕円および非球面反射体からなる集合体から選択し、前記主反射体システムの前記準結像倍率が、少なくとも 1.5 から 5 を越えない値を有し、中空反射型チューブ、固体全内部反射型ロッド、液体充填全内部反射型チューブ、単一光ファイバ、光ファイバ束、同じ入出射断面形状と領域を備えた光ガイド、異なる入出射断面形状を備えた光ガイド、異なる入出射断面領域を備えた光ガイド、一次元テーパ型光ガイド、二次元テーパ型光ガイド、異なる水平垂直テーパ角を備えた二次元テーパ型光ガイド、第一の一次元テーパ型部分と、一定の断面形状と領域を有する連続的な直線部を組み合わせた二段階光ガイド、二次元テーパ型入射部と、一定の断面形状と領域を備えた直線部を連続的に組み合わせた二段階テ

パ型光ガイド、湾曲した入射面を備えた光ガイド、湾曲した出射部を備えた光ガイド、主光ガイド伝搬軸に対して法線方向ではない方向に研磨した平坦な出射部を備えた光ガイド、前記光ガイドの前記入射ポートと、前記 M L E の前記出射ポートの間に、補助光学システムを備えた光ガイドからなる集合体から、前記光ガイドを選択する請求項 16 記載の L G L E。

【請求項 18】 前記 M L E が、前記放出源の軸に直交してより広い角度の広がりをも有し、前記放出源の軸に平行により狭い角度の広がりをも有する非対称角度依存出射ビームを放出し、前記光ガイドが、前記 M L E の空間的、角度的に非対称な前記出射ビームからの電磁エネルギーを集束させるアナモルフィックビーム変換器であり、少なくとも 1 つの前記出射ポートが、角度依存受光関数を有する補助光学システムを照射し、前記光ガイドが、前記 M L E の空間的、角度的に非対称な出射ビームと、前記補助光学システムの前記角度依存受光関数の間で、非結像型で面積効率のよい領域と角度のビーム再変換関数を提供する請求項 16 記載の L G L E。

【請求項 19】 フィラメント源導光型光エンジン (L G L E) であって、

放出源 S を有するフィラメントランプからの電磁エネルギーを集束させ、前記エネルギーの一部を集中させて、少なくとも 1 つの空間的、角度的に再変換した所定の i 番目の第二放出源 S' i を形成する小型光エンジン (M L E) と、

少なくとも 1 つの入射ポートと出射ポートを有し、少なくとも 1 つの入射ポートを備えた少なくとも 1 つの前記 i 番目の第二放出源 S' i から放出された電磁エネルギーを集束させ、前記集束エネルギーの主要部分を、少なくとも 1 つの出射ポートに送る光ガイドを有し、

前記 M L E が、

逆反射体システムと、

第一焦点 F 1 と、i 番目の光学システム軸を定義する少なくとも 1 つの i 番目の第二焦点 F 2、i を有する主反射体システムと、

タングステン・フィラメントを囲む半透明容器と、前記フィラメントを加熱する手段を有し、幾何学的放出源中心 C を有する前記放出源 S を形成し、前記放出源 S が、前記フィラメントランプからの電磁エネルギーを、前記容器を介して放出し、前記フィラメントの長軸が、放出源の軸を定義し、前記放出源の軸と直交する最大の幅が、幅 W と最大幅の軸を定義するフィラメントランプを有し、

前記放出源の軸が、前記 i 番目の光学システム軸と直交するように配置し、前記第一焦点 F 1 と前記放出源の中心 C の間の最短距離 D が、式  $D \leq 2W$  を満たし、

前記逆反射体システムが、少なくとも 1 つの i 番目の出射ポートと、少なくとも 1 つの凹面逆反射体を有し、前記逆反射体システムが、前記放出源 S から放出された前

配エネルギーの一部を集束させて、前記放出源 S の近傍の前記フィラメントランプに逆反射し、前記放出源 S と前記逆反射体システムの組合せが、有効逆反射放出源 S<sub>r</sub> を形成し、前記放出源 S<sub>r</sub> が、前記放出源の軸を含み、前記光学システム軸と直交する面に、所定の空間依存放出強度分布 S I (x, y; S<sub>r</sub>) を有し、前記主反射体システムが、少なくとも 1 つの凹面反射体を有し、前記主反射体システムが、前記放出源 S<sub>r</sub> から出射されたエネルギーの一部を集束させて反射し、少なくとも 1 つの前記第二焦点 F<sub>2, i</sub> の近傍の前記容器の周りにほぼ対称的に、前記集束電磁エネルギーの主要部分を集中させ、前記 i 番目の第二焦点 F<sub>2, i</sub> 近傍に、前記 i 番目の光学システム軸と直交する所定の空間依存強度分布 S I (x, y; S'<sub>i</sub>) を有する少なくとも 1 つの第二放出源 S'<sub>i</sub> を形成し、前記放出源 S と前記第二放出源 S' が、前記焦点 F<sub>1</sub> と、前記光学システム軸と直交し、前記放出源の軸を含む平面内で非対称な焦点 F<sub>2</sub> に各々、所定の角度依存放出エネルギー密度関数 A I (φ, Ψ; S)、A I (φ, Ψ; S') を有し、空間的、角度的に非対称で面積効率よく再変換した出射ビームを形成し、前記主反射体システム、前記逆反射体システム、少なくとも 1 つの前記 i 番目の出射ポートの湾曲と範囲を選択して、所定の最小面積面に沿って、強度分布 S I (x, y; S'<sub>i</sub>) を有する少なくとも 1 つの第二放出源 S'<sub>i</sub> を形成し、強度分布 S I (x, y; S'<sub>i</sub>) が、前記光源 S の前記強度分布 S I (x, y; S) の準結像倍率となるフィラメント源 L G L E。

【請求項 20】 少なくとも 1 つの前記第二放出源 S'<sub>i</sub> がの最小面積面を湾曲させ、前記最大幅の軸が、前記 i 番目の光学系の軸と直交するように配置した請求項 19 記載のフィラメント源 L G L E。

【請求項 21】 前記光ガイドを、アナモルフィックビーム変換器、面積効率よく適合させたアナモルフィックビーム変換器、対称光ガイド、領域再変換光ガイド、領域および角度再変換光ガイドからなる集合体から選択し、前記光ガイドの少なくとも 1 つの前記入射ポートを、平坦な入射領域、湾曲させた入射領域、垂直方向の入射領域、傾けた入射領域、段階的近似により湾曲させた入射領域、補助的な局所ビーム方向変換光学システムと滑らかな入射領域の組合せからなる集合体から選択し、前記主反射体システムの前記準結像倍率を、1.5 から 5 の間とする請求項 19 記載のフィラメント源 L G L E。

【請求項 22】 前記主反射体システムの湾曲を選択し、前記最小面積面の湾曲を、所定の湾曲まで曲げる請求項 20 記載のフィラメント源 L G L E。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する利用分野】 本願は 1998 年 6 月 8 日出

願の米国仮出願 60/088462 号「高性能光エンジンシステム及び製造方法」と、1998 年 10 月 15 日出願の米国仮出願 60/104388 号「映像式収集及び収束システムのガスランプの改良」の優先権を主張する。

【0002】 本願発明は一般的に高性能放射パワー伝達光エンジン (radiant power transferring light engine) に関し、特に投影システム (projection display system)、光ファイバー照明システム (fiber-optic illumination system) 並びに関連構成要素のデザイン改良に関する。

【0003】

【従来の技術】 光の利用、さらに広義にはコヒーレント (coherent) 及び非コヒーレント (incoherent) 電磁エネルギーの利用には光発生源位置と利用位置すなわちターゲット位置またはロケーション (target location) との物理的な分離を要する。対象である全光利用位置をターゲット T (target T) と呼称する。同様に、対象である全光発生源をソース S (source S) と呼称する。そのような電磁エネルギー発生源は連続式またはパルス式に作動させることができ、非コヒーレント型、コヒーレント型あるいは部分的コヒーレント型としたり、それらの組み合わせとすることもできる。それら電磁エネルギー発生源には、AC 電流または DC 電流、マイクロ波加熱、類似及び/又は異なる波長領域のエネルギーを利用した電磁波放射手段、化学手段、並びに他の多くのエネルギー発生源によってエネルギー供給が可能である。対象であるそれぞれのロケーションの配置に応じて、平面 (サーフェス) ソース S 及びターゲット T、立体 (ボリューム) ソース S 及びターゲット T、あるいはサーフェス/ボリューム型ソース S 及びターゲット T として特徴付けることが可能である。

【0004】 与えられたターゲット T は、通常はそれを照射 (illuminate) するのに使用される光ビーム (light beam) に対していくらかの関連フォーマット条件 (formatting requirements) を備えている。さらに、ソース S のスペクトル、スペース (spatial) 及びアングル (angular) 放出エネルギー密度ファンクション (emission energy density function) は、一般的に、与えられたターゲット T のスペクトル、スペース及びアングルの光アクセプトファンクション (light acceptance function) とは異なっている。従って、与えられたソース S とターゲット T との間の最良のエネルギーカップリングのためには、典型的には、関連するターゲット照射ビームをリフォーマット処理し、ターゲットによる利用も可能である収集可能な光 (collectable light) のデリバリー率 (delivery efficiency: DE) を増加させなければならない。ターゲット照射ビームのための通常のフォーマット条件の例は、それぞれの収集アパーチャ (collection aperture) 近辺でのその断面形状とサイズ、そのスペース密度配分 (spatial

intensity distribution)、その最小及び最大密度レベル(intensity level)、その好適な方位(azimuth direction)によって決定される最大入射角(incident angle)、その局部エネルギー拡散方向(local energy propagation direction)、そのスペクトルエネルギー内容及びスペクトル密度配分等々の限定要因である。加えて、多様な照射システムにおいて、選択された内部光学構成要素の選択(例えば、カラーホイール(Color Wheel: CW)、光バルブ(Light Valve: LV)、光ガイド(Light Guide: LG)、極性変換システム(Polarization Conversion System: PCS)、カラーキューブコンバイナ(color cube combiner: CQC)、歪像ビーム変換装置(Anamorphic Beam Transformer: ABT)、形状化式照射ターゲット(configurable illumination target)等々)及び/又は構成要素のレイアウト限定要因(LVの入力及び出力カップリング、構成要素の最大高等々)は、最大光デリバリ率に影響を及ぼす。これらの設計限定要因及び/又はスループット(throughput)制限要素は、中間ターゲット(intermediate target) T' としても好都合に解釈できる。

【0005】与えられたターゲットTのフォーマット条件を満たす光線のみがそのターゲットTの照射に有用である。残りの光線(ターゲットT自体またはその近辺への投射光線)は典型的には無駄になる。多くの場合、これらの利用不能な光線は、例えば、ターゲット自体の不都合な過熱や映像表示システムの画像コントラストの低減を引き起こすことで特定のターゲット照射利用を妨害させないようにマスク及び/又はスペクトルフィルターで遮断し、ターゲットTへの到達を防止する必要がある。しばしば、選択されたカラーバンド(color band)及び/又は極性方向(polarization direction)の減衰も必要であり、選択された白色ポイント及びカラー領域及び/又は明確に定義された極性状態(polarization state)を備えた特定カラーバランスシステム(color balanced system)を創出させる必要がある。

【0006】よって、光(すなわち、本願発明の目的においては全波長の電磁放射)がソースSから獲得され、ターゲットTにデリバリーされ、ターゲットTによっても利用可能となるように、与えられたターゲットにデリバリーされる光に対して可能な限りのリフォーマット処理を施さなければならない。

【0007】光エンジン(Light Engine: LE)とは、前述の電磁放射パワー伝達(electromagnetic radiation power transfer)とビームリフォーマット処理(beam reforming task)とを実行する装置である。光エンジンは典型的には共同で2種または3種の主要な任務を果たす多数の光学構成要素で成る。第1の任務はソースSから光を収集することである。第2の任務は収集した光の一部をターゲットTにデリバリーすることである。第3であって、しばしばオプションである任務は光ビームをリフォーマット処理して、ターゲットTにデリバリーされる光の

利用可能な内容を増強することである。

【0008】本願発明の理解を助けるため、LE(光エンジン)の4つのサブクラスを定義する。それらは、小型光エンジン(Minimal Light Engine: MLE)、光ガイド光エンジン(Light Guide Light Engine: LGLE)、歪像ビーム変換光エンジン(Anamorphic Beam Transformer Light Engine: ABTLE)、及び投射光エンジン(Projection Light Engine: PLE)である。MLEは特殊なLE(あるいは、さらに複雑なLEの一部)であり、ソースSのエミッションサーフェス(emission surface) ESsまたはエミッションボリューム(emission volume) EVsから放射される光を収集し、ボリュームEVs'内でコンセントレーション(concentration)させる。このボリュームEVs'はセカンダリソースS'(secondary source S') (エミッションソースとも呼称)のエミッションボリュームとして解釈が可能である。これはターゲットTを直接的に照射するか、ビームリフォーマット及び/又は関連LEのリモート伝達システムの収集アパーチャ(collection aperture: CA)を照射する。LGLEは別の特殊LEであり、MLEがエネルギーを少なくとも1つのLGにカップリング(例えば、ビームリフォーマット及び/又はリモートエネルギー伝達を目的として)処理し、それぞれのLGの入力ポート(input port)がそれぞれのMLEのエミッションボリュームEVs'から光を収集する。それぞれの照射ターゲット(illumination target) Tは、排出するビームのスペース及び/又はアングルの延長部分に対する拘束条件(constraint)とオプション的に組み合わせられたそれぞれのLGの出口ポート(exit port)である。ABTLEはLGLEと似ており、ビームリフォーマット処理のために少なくとも1つのABTを利用する。そのLGもABTであれば、LEはLGLE及びABTLEであり得る。PLEはMLEを含んでおり、投影スクリーン上で像画される処理済み出力ビームを発生させる形状化可能(configurable)な照射ターゲットを照明する。

【0009】エテンデュ(etendue) E と呼称される光パラメータ(optical parameter)、エテンデュ率(etendue efficiency) EE、スループット率(throughput efficiency) TE及びデリバリ率(delivery efficiency) DEは本願発明の理解に重要であり、以下で定義して解説する。エテンデュEは光ビームのスペース及びアングルコンファインメント(spatial and angular confinement)の測定値(measure)である。スループットTEとエテンデュ率EEは関連パラメータであり、理想的な光学システムとの比較による、与えられた入力ビームのリフォーマット効率を異なる手法で測定したものである。デリバリ率DEパラメータは、ターゲットフォーマット条件の充足と、与えられたターゲットTに対するLEのスループット率の両方を測定したものである。すなわち、与えられたターゲットTにより収集可能で利用可能な光量を

測定したものである。

【0010】本願発明は高性能MLE、LGLE、ABTLE及びPLEに関連する。それぞれのLG及び/又はABTのそれぞれの入力ポート及び出力ポートは好適にはそれぞれのMLEとターゲットTにカスタマイズされ、与えられ、拘束されたLEデザインのデリバリ率を最良化させている。

【0011】以下で紹介する発明は、それらが意図する目的においては優れたものであり、いくつかの従来実施態様を開示している。それらを全て本願発明の理解に供する。

【0012】マツモトの特許5491765号(1996年)は典型的なLGLLEデザインを解説しており、パラボラ形状でシール処理された短アークリフレクターランプ(parabolic sealed short arc reflector lamp)が焦点レンズ(focusing lens)と共に使用されており、収集されたエネルギーを丸型光ファイバーLGの入口平面にデリバリーさせるものである。別の関連する通常式オンアキス(on-axis)型の従来のLGLLEデザインは、別体のエンベロープ(envelope)を備えたランプの収集及び  
10 コンセントレーションシステム(Collection and Concentration System:CCS)としての楕円ミラーを使用する。両方のデザイン系は非画像タイプ(non-imaging type)であり、従って典型的には低エテンデュ率EEとなる。よって、それらは、(AsはソースSのエミッション領域のそれぞれの有効断面積) 入力面積 $A_L \gg A_s$ を有した大径ファイバー束に対してのみ高いデリバリ率DEを達成する。

【0013】ムラカミ他の米国特許4460939号(1984年)はMLEとしてのダブル凹式リフレクターシステム(double concave reflector system)とシートLGとを有したLGLLEを紹介している。これはスペース的に高い出力密度均等性(spatial high output intensity uniformity)高デリバリ率を創出するが、低エテンデュ率でもある。なぜなら、LGの収集エテンデュはエミッションソースのものよりもずっと大きいからである。オオクチの米国特許5574328号(1996年)は、CCSの光軸(optical axis)と共軸に整合されているガス放出アークランプ(gas discharge arc lamp)のソース軸(source axis)を備えたCCSを形成するダブル凹式リフレクターを有したMLEを解説している。光ソースと2直交面で非点収差式セカンダリ焦点(astigmatic secondary focus)のオリエンテーション(配向性)は非画像タイプ(non-imaging type)のCCSシステムを創出させ、そのMLEのエテンデュ率を低減させる。ウィンストン他の米国特許5491620号(1994年)は、MLEと、再コンセントレーション処理された光を収集するLGのCCSとしてのダブル凹式リフレクターシステムを有している。ほとんどの光ガイドの最大収集角は $90^\circ$ よりもずっと小さいので、このよう  
20  
30  
40  
50

なシステムは、最大アクセプト角 $< 90^\circ$ のターゲットにおいては低デリバリ率を有する。リツキン他の米国特許5842767号(1998年)は、面積及び角度コンバータとしての中空錐型リフレクターと補助的レトロリフレクター(auxiliary retro-reflector)とを備えたオンアキス楕円リフレクターを紹介している。このシステムは大径LGに対して高カップリング率を達成させるには有効であるが、これも非画像タイプであり、エテンデュ制限ターゲット(etendue-limited target)に対してはエテンデュ率及びデリバリ率を最大化させない。

【0014】ストロブル(本願発明者)他のオフアキス(off-axis)タイプの米国特許5414600号(1995年)並びにペーカ他のオンアキスタイプの米国特許5509095号(1996年)は、従来技術であるクワジイメージピーク密度最大化光ファイバー(quasi-imaging, peak intensity maximizing, fiber optic) LGLLEの代表例である。それらは典型的には、非常に小径で、丸型で、シングルタイプの光ファイバーあるいは光ファイバー束を短アークDCタイプソースで照射するの  
10 20 30 40 50

に使用される。このオフアキスLGLLEは、複合ビーム組み合わせ光システム(complex beam combining optical system)に導く多重ポート出力のためにのみ高デリバリ率DEを達成し、このオンアキスLGLLEはほとんどの実際的な高数アパーチャ(higher numerical aperture) LGに対して重要な収集率限定要因(collection efficiency limitation)を有している。

【0015】前述の基本的な従来型LGLLEデザインの設計及び製造に関する制限要因によって、望むよりも低いデリバリ率及び/高いシステムコストとなることが多い。このことは、与えられたターゲット又は中間ターゲットTあるいはT'の最大アクセプト(収集とも呼称)エテンデュ $E_{T^{\max}}$ が、ソースSの特徴的なエミッションエテンデュESよりも小さな値である場合に当てはまる。よって、与えられたターゲットの照明要求(illumination demand)を満たすため、従来技術の低デリバリ率LEは典型的には、ずっと低いエミッションエテンデュ $ES < E_{T^{\max}}$ を有した特殊ソースの使用を必要とする。すなわち、非常に小さくて非常に高い密度のエミッション領域を有した特殊ソースを必要とする。典型的にはDCまたはACの短プラズマアーク技術(short plasma arc technology)が、そのような高輝度で点式エミッションソース(point-like emission source)の製造に活用されている。この短アークランプは典型的には電気から光へのエネルギー変換効率が、同一であるタイプの長いアークソースよりも低く、しばしば、さらに高いワット数のランプを使用して、所定のターゲット照明レベルを達成しなければならない。その結果、しばしば、全システムコストは、さらに高いワット数のパワー源及び/又は増加した冷却条件及び空間条件等の追加条件によって増加する。加えて、そのような高輝度で点タイプアークソー



スの寿命は、一定の電力レベルにおける一定のアークギャップ及び/又はアークギャップの短縮のためのランプワット数の増加に伴って短くなり、システム維持費の増加につながる。

【0016】まずLVを照明することで投影スクリーンを照明するようにデザインされている従来の投影光エンジン (Projection Light Engine:PLE) は、前述の従来LGLEよりもさらに複雑であり、光学的な条件が厳しい。PLEの特定の重要な光学構成要素の選択にはしばしば追加的なデザイン制限が導入される。典型的には、LVは直接的にも間接的にもそれぞれのPLEデザインの最も大きなエテンデュ制限の光学要素である。従来技術のPLEデザインのさらに限定的な最良化の選択要因によって、光PLE設計者は、スクリーンの均質化、カラー領域(colorgamut)及び白色ポイント(white point)をシステム輝度及び物理的なパッキング制限(mechanical packing constraint)とバランスさせて、最良の全体的な調整を図らなければならない。これらデザインの調整はそれぞれの規制されたPLEデザインのスループット率(throughput efficiency)TE、エテンデュ率E、及び/又はデリバリ率DEを低下させる。

【0017】ドハティの米国特許5592188号(1997年)は、シングルデジタルマイクロミラー装置(single digital micro mirror device:DMD)タイプの反射(reflective)LVのための典型的なPLEを解説する。この特許で解説されているMLEは米国特許5491765号のものと非常に似ている。しかし、LGを照明する代わりにこのシステムはカラーホイール(color wheel)に収集ソースエネルギーを焦点させる。それで、時間シーケンズされたカラービーム(time sequenced color beam)を創出させる。このカラーホイールは別の光学要素であり、PLEデザインに追加的な規制を導入し、さらに、主要なスループット率の限定要因の1つでもある。

【0018】ジャンセンとシミズの米国特許5442414号(1995年)は、照明ビーム(illumination beam)を特殊な非対称手法(asymmetric manner)でクリップ処理(clip)する非対称マスク(asymmetric mask)の使用を教示する。これにより、その照明ビームの発散角(divergence angle)  $\theta_{lv}$  (度)は、MDMタイプのLVの光基準軸に対して測定される方位角(azimuth angle)  $\Psi$ 、に関して所定のファンクション(function)を有する。バンデンブラントとティマーズの米国特許5098184号(1992年)は、液晶タイプのLVを照明するPLEのスペースビーム密度均質化(spatial beam intensity homogenization)のためのレンズアレイデザイン(lens array design)を解説する。これら2つの改良によって、照明ビームのフォーマットを改善し、追加的な光学要素を含ませてLVのフォーマット条件とさらに良くマッチさせることでそれぞれのPLEのデリバリ率DEを幾

分か増加させる。しかし、それらは、従来技術のPLEデザインの低いエテンデュ率によって、エテンデュリミテドエテンデュ-制限デザイン(etendue-limited design)に対して可能なデリバリ率よりも低いデリバリ率を達成する。

【0019】与えられたLVに対するPLEの光出力を増加させるため、カラーホイールベースのシングルLV、PLEデザインのいくつかのバリエーションが実施されてきた。これらデザインの目的はカラーホイールと関連する高スループット損失(>55%)を減少させることである。例えば、ジャンセンの米国特許5528318号(1996年)は、シングルLV、PLEを解説する。このカラーホイールは特殊スキャニングプリズム(scanning prism)で置換されている。このスキャニングプリズム技術を必要に応じて極性変換技術(polarization conversion technology)と組み合わせることで、原理的にはソースSによって発生される全ての光は、カラー画像の発生のためにシングルLVの照明に利用が可能である。しかし、これらビームリフォーマット増強技術(beam reformatting enhancement technology)は、典型的には3から6のファクター(PCSを備えた極性依存(polarization dependent)LVでは6から12)だけLVの照明ビームのエテンデュを増加させる。これで、LVの有効照明領域を3から6(または6から12)のファクターだけ減少させ、一般的にカップリング効率を減少させる。従って、従来技術の方法の制限と組み合わせたスキャニングプリズム法は現在のところ大型LVにのみ有効である。LVの面積が広ければ広いほど、すなわちその最大収集エテンデュ(collection etendue)が大きければ大きいほど、与えられた投影スクリーン輝度を達成させるためにPLEのエテンデュ率EEに依存する割合は減少する。しかし、大きなLVは製造コストが高くなり、光ビームのコントロールには大型光学機器が必要となり、それらの発明の利点を限定していた。

【0020】カラーPLEのアウトプットを増加させるのに使用される別の通常方法は、複数のLVを同時に使用することである。カラーSplittingシステム(color splitting system)は典型的にはそれぞれのMLEのアウトプットを異なるカラービームに分割する。それらはトランスミット(transmitted)され、ホモジェナイズ処理(homogenized)され、アパーチャ処理(aperture d)されて、それぞれのLVに映像化される。これらLVのアウトプットは次にスペース的にスーパーインポーズ処理(superimposed)され、LVのカラー画像を提供するために離れた投影スクリーンに投影される。典型的にはそれぞれのカラーバンド(color band)につき1つの割合で3つのLV(米国特許5098184号参照)が使用される。複数のLVを使用するPLEは一般的に与えられたソースSに対してさらに大きな光アウトプット(light output)を達成させるが、さらに大きくて重量のある

PLEを必要とする。スルーブット率TEの増加にも拘わらず、これらPLEは典型的にはいくぶんかはエテンデュ制限を受けるように設計されており、よって、本願発明のものよりも低いデリバリ率を有している。

【0021】従来技術におけるLG、PLEの主たる用途は、対称ビーム変換機(Symmetric Beam Transformer: SBT)すなわち、軸対称ビームリフォーマット作用(axissymmetric beam reformatting behavior)を備えたシステム、または、それぞれのMLEを投射システムに接続している遠隔エネルギーデリバリシステムである。例えば、直線的で、メッキ処理(cladded)された、または非メッキ処理である方形ロッドまたは中空反射管で製造されたシングルチャンネル式LGは、ビーム密度ホモジェニゼーション(beam intensity homogenization)のためと、明瞭なエミッションアパーチャを創出させるのに多用される。時には遠隔エネルギーデリバリのためにファイバー束がLGとして利用される。

【0022】ネルソンの米国特許5159485号(1992年)は、ABTLEを採用したPLEを記述している。しかし、このデザインはレンズベースのMLEを使用しており、低デリバリ率となり、そのABTは低エテンデュ率を有する。

#### 【0023】

【発明が解決しようとする課題】従って、本願発明の目的は、広範囲のエテンデュ制限ターゲット(etendue-limited target)Tとエクステンドされたエミッションソース(extended emission source)とのための高デリバリ率LEの提供である。

【0024】本願発明の別目的は、高エテンデュ率及び/又はスルーブット率MLEの提供である。

【0025】本願発明の別目的は、カラーリフォーマットMLEの提供である。

【0026】本願発明の別目的は、高デリバリ率LGLEとABTLEの提供である。

【0027】本願発明の別目的は、スルーブット率及び/又はKEのデリバリ率を改善させるためのインプットとアウトプットアレンジ及び/又は補助光学機器を有しており、マッチしているLGとABTを構築する製造方法の提供である。

【0028】本願発明の別目的は、改善されたPLEの提供である。

【0029】本願発明の別目的は、カラーリフォーマットされた光ビームの提供である。

【0030】本願発明の別目的は、関連及び制限されたLEのデリバリ率を最良化しながら、関連機器要素のサイズを減少させる方法の提供である。

#### 【0031】

【課題を解決するための手段】与えられたスペース的にエクステンドしたエミッションソース(spatial extended emission source)Sと、それぞれのスペース及びアン

グル依存式エミッションファンクション(spatial and angular dependent emission function)を有した与えられた遠隔照明ターゲット(illumination target)Tのデリバリ率は、ターゲットの要求に対して光学特性をエテンデュ効率的にさらに良好にマッチさせる手段を提供し、スペース、アングル及びスペクトルビームリフォーマット(spatial, angular and spectral beam reformatting)のオプション手段の提供によって改善される。

【0032】従来のLEは、非画像化で高収集率タイプ、または画像化するが低収集率タイプのMLEで構築されている。本願発明は、エテンデュ制限されたターゲット照明のためにさらに効率的なLEを提供するため、画像化し、さらに高い収集率タイプのMLEのデザインと使用を想定している。これら好適MLEはずっとさらに高いエテンデュ率である4πステラディアン(steradian)からπ/2立体角の変換まで達成し、広域のターゲット照明アプリケーションのためにさらに利用度が高い出口ビーム(exit beam)を発生させる。さらに、MLEのアウトプットの従来のビームリフォーマットは対称ビーム変換機(Symmetric Beam Transformer: SBT)で、あるいは、例えば、2つの直交画像方向の異なる拡大率を有した光カップリングシステムである低エテンデュ率のアナモルフィックビーム変換機(Anamorphic Beam Transformer: ABT)で達成される。本願発明は、高エテンデュ率及び/又は高デリバリ率手法において、好適タイプのMLEの非対称アウトプットビームをリフォーマットすることでLEのデリバリ率を増加させる高エテンデュ率ABTのデザインと使用とを解説する。さらに、これら基本的な構築ブロックの多彩なアプリケーションはLGLE、PLEの構築に関して説明される。

【0033】好適タイプのMLEは、エミッションソースS、反射式CCSから製造されたプライマリリフレクションシステム(Primary Reflection System: PRS)、及び少なくとも1つの出口ポートを備えた反射式レトロレフレクションシステム(Retro Reflective System: RRS)を含んでいる。RRSは典型的にはソースSから発生された光の50%以下を収集し、それを焦点させてほぼ元のエミッション領域に戻す。RRSは、画像反転式、実質的非拡大のエネルギー収集及びレトロ反射システムとして機能する。よって、ソースSはRRSと共に効率的なレトロリフレクションソースSrを形成する。これは典型的には2πステラジアン以下で光を発生させ、その発生領域は典型的にはソースSのボリュームと同じものから約2倍までを占め、主として、ソースS及びそのオフセットミラー処理分布(offset mirrored distribution)のエミッション密度分布(emission intensity distribution)のウェイト処理されたスーパーポジション(weighted superposition)であるスペース依存エミッション密度分布(spatial dependent emission intensity distribution)を有している。それぞれのPRSはそ

のようなレトロリフレクションソース  $S_r$  が発生させた光を収集し、実質的に発生ソースの周囲でセカンダリエミッションボリューム (secondary emission volume)  $E_{Vs'}$  にコンセントレーション (concentrate) し、少なくとも 1 つの高エテンデュ率の拡大領域と、そのソース  $S$  よりも非常に小さいエミッション立体角内に照射される角度リフォーマット処理されたセカンダリソース (angle reformatted secondary source)  $S'$  を形成する。

【0034】そのような好適なタイプの MLE から RRS の対応する出口ポートに進むビームは、対応するソース  $S_r$  のエミッション領域と類似した拡大スペース密度特性 (magnified spatial intensity characteristic)

(クワジイメージング (quasi-imaging)) を有しており、典型的には軸非対称角依存エネルギー密度分布 (axial asymmetric, angular dependent energy density distribution) を有している。ソース  $S$  及びセカンダリソース  $S'$  のアングル及びスペース特性は、実質的に高エテンデュ率に関連しており、MLE のトータルアウトプット率はソース  $S$  から発生された全光に近い。

【0035】RRS システムも、発生されたエネルギーの約 50 % を再度、ソース  $S$  のエミッション領域で相互作用させることで高エテンデュ率のカラーリフォーマットのためのオプションを提供する。これでガス放出ソース (gas discharge source) に対するオプティカルパス長 (optical path length) を 2 倍とすることができる。このような光と材料の相互作用はランプのタイプによっては直接的または間接的な波長 (主として蛍光と加熱波) 変換効果を提供することができ、同一ソースが単独である場合とは異なるスペクトル密度分布を有した MLE 出口ビームを発生させる。

【0036】その対応する最低エテンデュ表面で収集されたそのような好適なアウトプットビームの最低エテンデュは、典型的には同程度の収集及び濃縮能力と類似した出口拡散角を有する従来の MLE と比較してずっと小さい (1.5 倍から 3 倍)。これで典型的には、エテンデュ制限されたターゲットよりも、対応する焦点付近のさらに細いビームとなり、さらに効率的なエネルギーカップリングとなる。

【0037】セカンダリエミッションソース  $S'$  は典型的には、高エテンデュ率に関連するアングル及びスペースの軸非対称特性を有しているため、ABT でリフォーマットする好適な高エテンデュ率であるアナモルフィックビームは、それぞれの ABT の与えられたアウトプットポートエミッションアパーチャ (output port emission aperture) に対してさらに大きな入力ポート収集アパーチャ (input port collection aperture) を効率良く提供する。

【0038】さらに、多くのタイプのエミッションソースが、幅広いバンドのエミッションのために大きなスペースの拡張部 (spatial extend) を有しているため、画像

化タイプの好適 MLE は、マッチした ABT の増加した収集アパーチャと組み合わせられて、典型的には、与えられたソースからさらに幅広いバンドのスペクトルを収集する。これは、前述の RRS と組み合わせられてそのソースのカラーリフォーマットをさらに助ける。

【0039】非対称的にテーパされた中空またはソリッドな LG はしばしば、デリバリー率を上げるため、低コスト ABT システムとして利用される。また、異なるインプットとアウトプット断面形状を備えた特殊な高効率タイプの LG が、効率的なスペースビーム断面領域リフォーマット (spatial beam cross sectional area reformating) のために使用可能である。オプションとして、ABT は、そのビーム断面をさらに利用しやすい形状にリシェーブさせる前にまず非対称インプットビームをクワジ対称化 (quasi-symmetrize) させるのに使用される。しばしば、そのような ABT は同時にスペースビーム密度ホモジェニゼーション (spatial beam intensity homogenization) を提供することもできる。これは PLE タイプのアプリケーションに対してデリバリー率を増加させるのに役立つ。さらに、ABT との補助光学機器の組み合わせは、限定された LE デザインの仕事を最良化させるのに有効である。

【0040】補助的レトロリフレクターは収集効率をさらに改善させ、それぞれの MLE のカラーリフォーマットに有用である。

【0041】好適 MLE と、マッチした ABT との組み合わせによって、与えられたサイズのターゲットのためにさらに広いエミッション領域の使用ができ、及び/又はシステムサイズの縮減が可能となる。本願発明で、投影光エンジン (Projection Light Engine: PLE) あるいは光ファイバー照明システム (fiber optic illuminations system) のためにこのようなデザインが最良化されると、一般的に、同じアウトプットレベルの、さらに明るいアウトプット及び/又は安価なシステムあるいはシステムサイズが得られる。

【0042】

【発明の実施の形態】本願発明の好適実施例及び方法のさらなる理解を図るため、図 1 から図 5 を利用して従来技術を解説する。

【0043】図 1 は多用されている従来技術の LGLE-A (例えば、米国特許 5491765 を参照) を示す。これは軸対称的に、アクセプト角 (acceptance angle)  $\theta_{L^m}$  と光軸 (optical axis) 12 とを有した軸対称であって、一定の直径 LG10 のインプットポート IP のアクセプト面 (acceptance surface) ASL の円形収集アパーチャ (round collection aperture) を示している。一定の断面 LG に対して、そのアウトプットポートのエミッションアパーチャ (emission aperture) はそのインプットポートの収集アパーチャと同一であり、この特定タイプの LGLE に対する実用的ターゲット TA は

10

20

30

40

50

実用的にはインプットポートIPである。その最大アクセプト角 $\theta_{in}$ はLG10の最大アクセプト入射角(acceptance incident angle)として定義される。それを超えるとエネルギートランスミッションロスが許容範囲を超える。

【0044】各LGのインプットポートは異なる形状にて提供されるであろうが、それでも各インプットポートは、例えば、それぞれ有効なエントランス面(entrance surface)、エントランスアパーチャ(entrance aperture) (=エントランス面のアウトライン) とアクセプト角を有するであろう。従って、適切な場合、またさらに従来技術と本願発明の好適実施例との比較対照を容易にするため、数字の代わりにオプション的に解説文が使用され、与えられたシステムの重要な機能パラメータを説明する。加えて、利用できる場合には、同様な参照番号と説明が同様な要素に対して使用される。さらに、'i'の表記は複数の同様な要素を表す。'θ'の角度は、特に記載がない限り、それぞれのファーストフィールドポジション(far field position)で定義されたそれぞれの最大ハーフコーン角(maximum half cone angle)である。それらはそれぞれの方位角'Ψ'すなわちθ(Ψ)の従属(dependency) (典型的には記述されていない) を有している。対象の全角度θの合計はそれぞれの立体角'Ω'と、それぞれの角依存エネルギーエミッション(angular dependent energy emission)またはアクセプトファンクション(acceptance function)の適切に選択された定エネルギー密度等高線(constant energy density contour)として定義された関連角依存ビーム形状(associated angular dependent beam shape)を形成する。

【0045】LEを特徴付けるために使用されるエテンデュE、エテンデュ率EE、スループット率TE及びデリバリー率DEのごときパラメータは、従来技術の解説に引き続いて解説する。

【0046】ソースSAは図1において、パラボラリフレクタ14、透明エンベロープ状ウィンドウ16及びエミッションボリュームEVSAを備えた、シールされたコンポジットリフレクタランプ(例えば、CERMAX™タイプのランプ)として図示されている。リフレクタ14とウィンドウ16とで形成されたシールされたキャビティは適当なエネルギー付与可能な気体(energizable gas)で満たされる。DC電流は陰極20と陽極22(電極20及び22)に提供され、非同形電極20と22の先端間で気体にエネルギーを付与する。得られた電磁放射エミッションボリューム(electromagnetic radiation emitting emission volume)EVSAは、スペース、アングル及びスペクトル依存エミッションエネルギー密度ファンクション(spatial, angular and spectral dependent emission energy density function)を有している。等しいエミッション密度であるこのスペース依存等高線面(spatial dependent contour surface)は典型的には

長形涙形状(図1)に形成される。最大出口拡散角(exit divergence angle)はθである。

【0047】ボリュームEVSAのエミッション最大値は陰極20の先端に接近して配置される。エミッションボリュームEVSAは典型的にはクアジ(quasi)円筒状対称軸を有している。この軸はソース軸24とも呼ばれ、陰極20と陽極22の電極先端によって形成される。ボリュームEVSAから放出されるエネルギーのアングル依存は典型的にはソース軸24に対して軸対称である。しかし、電極20と22を含んだ平面において、ボリュームEVSAから漏れる放射線は電極20と22の先端でブロックされ、ソース軸24に直交する制限されたアングルエミッション角(angular emission angle)Ψとなる。

【0048】図1は、オン軸系(on-axis)LGLEの通常に利用される従来技術によるデザイン解決法を示している。ソース軸24は光対象軸と一致しており(パラボラリフレクタ14のシステム軸28とも呼称)、エミッションボリュームEVSAはパラボラリフレクタ14の焦点近辺に位置している。収集され反射したソースエネルギーはシールされたランプウィンドウ16を実質的に平行でゆっくりと拡散するエネルギービームとして外出する。このエネルギービームは、例えばレンズのごときコンセントレーションシステム(concentration system)30によってエミッションボリュームEVSAを有したセカンダリソースS'Aに焦点される。パラボラリフレクタ14とコンセントレーションシステム30は、ソースSAのボリュームEVSAから放出されるエネルギーのためのシステム軸28を備えた収集及びコンセントレーションシステムA(CCS-A)を形成する。この軸対称CCS-Aは最大コンセントレーション角θで収集ソースエネルギーを、システム軸28に沿った軸焦点ロケーションLrmsで実質的に(スペース及びアングル)軸対称ビームに凝集させる。そこで自由移動エネルギービーム(free traveling energy beam)のrms-直径Drms(ルート平均平方径(root mean square diameter))は最小となる。この軸焦点ロケーションLrmsもセカンダリソースS'AのエミッションボリュームEVSAの中央ロケーションである。

【0049】エミッションボリュームEVSAと組み合わせられたCCA-Aと、電極20と22と、ウィンドウ16を形成するエンベロープはそれぞれのMLE-Aを形成し、LG10と共にそれぞれのLGLE-Aを形成する。LG10への最良エネルギーカップリングのために、そのインプットポートIPはエミッションボリュームEVSAの内側に配置される。

【0050】図2は異なる種類の通常に使用される従来技術のLGLE-Bを示している。これは、対称角依存エネルギーアクセプトファンクション(symmetric angular dependent energy acceptance function)を有した一定断面(constant cross section)LG10のインプット

あるいはアクセプト面ASLを照明している。そのアクセプト面ASLはLE-Bの有効ターゲットTBである。それぞれのCCS-Bは、CCS-Bのシステム軸28でもある回転軸を有した楕円形状リフレクタ40の軸対称部分で提供されている。ソースSBは、内側エンベロープ42を有した透明エンベロープランプによって包囲されたエミッションボリュームEVS<sub>B</sub>として示されている。このエンベロープ42を通して電磁エネルギーはエスケープし、このエンベロープ42は適当なエネルギー付与可能な気体を閉じ込める。ランプのタイプによってはダブルエンベロープランプであり、エネルギーをエスケープさせる透明な外側及び内側エンベロープを有している。オプションとして、それぞれのリフレクタ40をランプ爆発による危険を防止するための安全窓で封鎖することもでき、外側エンベロープとダブルエンベロープランプを効果的に提供する。

【0051】第1ランプポスト44と第2ランプポスト46は、2つの(対称AC-弧状)電極48とエンベロープ42とを気密シールしており、リフレクタ40に対してソースSBを機械的に搭載させている。楕円形リフレクタ40のホール50はシステム軸28に沿ったソースSBの適切なポジショニングと物理的固定とをさせている。ソースSBとCCS-BはそれぞれのLGL-E-BのMLE-Bを形成する。

【0052】図1に示すDCタイプソースSAとは対称的に、図2に示すACタイプのソースSBは、交流電流でエネルギーが付与される実質的に類似した先端形態を有した2つの電極48を有している。これで両電極の先端を電流の約半サイクルごとに陰極先端とする。よって、得られた時間平均プラズマソースのエミッションボリュームEVS<sub>B</sub>は2つの空間的に分離した最大エミッション(emission maxima)、すなわち、それぞれ部分的にオーバーラップしたサブボリューム(sub-volume)52と54とを有する。各サブボリュームは異なる電極先端に接近して最大エミッションを有している。ダブルピークエミッションボリューム(double peaked emission volume)EVS<sub>B</sub>は、両方の交互に放出するサブボリューム52と54の時間平均スペーススーパーポジション(time averaged spatial superposition)を介して得られる。

【0053】図3Aはスペース依存エネルギーエミッション密度分布(spatial dependent energy emission intensity distribution)SI(x,y;S)の例であり、図2に示すものに類似した典型的なAC-アークソースSBと共に観測が可能な等しいエミッション密度の等高線を、ソース軸24を含み、エミッションボリュームEVS<sub>B</sub>を横切る平面に示している。また、光エミッションの一部をブロックするACアーク電極48の2つの重なった先端像も示されている。多くのDCまたはACアークランプにおいて、これら等高線の形状は検出システムのスペクトルバンド幅に強く影響を受ける。しばしばそれらの

形状は与えられたアークランプの古さや開始パルス数及び重力及び/又は電磁界に関してランプ軸24のスペース配向性に影響を受ける。これはしばしばCCSアウトプットビームの焦点、よってLG10のアウトプットで、MLE-AとMLE-Bデザインをスペース及び/又はアンフルランプエージ依存カラー変動(spatial and/or angular lamp-age dependent color variations)に導く。特に、金属ハロゲンタイプのランプにおいて、そのようなスペース依存カラー変動は通常のことである。

【0054】図2に戻るが、ボリュームEVS<sub>B</sub>からの放射光はリフレクタ40で収集され、セカンダリソースS'BのエミッションボリュームEVS'Bにコンセントレーションされ、LG10のインプットポートIPを照明する。

【0055】図3Bは図2の従来技術LGL-E-Bの理論的な最良形態を示す。これは以下で解説するシステムパラメータに対して最良化されており、5mm径で最大アクセプト角 $\theta_{\text{acc}} = 30^\circ$ 度を有した円形アパーチャまたはLG10へ光をカップリングさせるように最良化されている。図3Bは、軸エネルギー焦点ロケーション $L_{\text{rms}}$ に位置したシステム軸28に垂直な平面のアングル依存エネルギー密度ファンクション(angular dependent energy density function)AT( $\phi, \Psi, S'$ )の等しい収集密度の等高線を示す。選択されたパラメータに対して、これはLG10のインプットポートIPの最良ロケーションでもある。インプットIPの収集アパーチャC(x,y;S')は図3BにおいてASL=19.6mm<sup>2</sup>の面積を包囲する厚い円形ラインとして図示されている。

【0056】図3Bに示されるデータの発生に使用された軸対称のACタイプボリュームソースSBは、図3Aのデータの発生に使用されたものと同じエネルギーエミッション密度ファンクションを有している。同一ソースがこの説明を通じて使用されており、同一ソースSBに対する異なるMLEのエテンデュバパフォーマンスを比較している。2つの電極48の先端のスペースは2.35mmであり、サブボリューム52と54の最大エミッション間の間隔は2mmであると想定される。エンベロープ材料は屈折率 $n = 1.46$ の水晶であると想定される。ソースエンベロープ42は球状であり、12.5mmの外径と1mmの壁厚を有していると想定される。ランプポスト44と46は円筒状であり、長さが30mmで直径が9mmであると想定される。モデルされた楕円リフレクタ40は第1(第2)焦点F1(F2)をリフレクタ40の左焦点から8.5mm(100mm)の距離に有していると想定される。全部のリフレクター長は50mmである。サブボリューム52と54はリフレクタ40の第1焦点F1に関して対称に配置されている。

【0057】得られたエネルギービームは、リフレクタ40の焦点から $L_{\text{rms}} \approx 95$ の軸エネルギー焦点で最低ビームrms-径 $D_{\text{rms}} \approx 3.1$ mmを有し、選択LG10の

数値アパーチャ(numerical aperture)  $NA_{L1}^{in} = \sin(\theta_{L1}^{in}) = 0.5$  内で拡散角  $\theta \approx 28^\circ$  を有している。MLEの全てのアンクル出口エネルギー密度ファンクション(angular exit energy density function)が明瞭に定義されたカットオフポイントを有しているわけではないので、全てのそれぞれの拡散角  $\theta$  は、99%のエネルギーを包み込む最大拡散角として随意に定義されている(光線トレースシステムモデル(ray-tracing system model)を使用)。

【0058】CCS-AとCCS-Bシステムは両方とも非映像タイプのシステムであり、2本の対称軸28と24の共通線アレンジによって、それぞれの焦点付近に位置する軸対称ソースSAのスペース及びアンクルエミッション特性とは無関係に実質的に軸対称であるビームを発生させる。

【0059】図4は従来技術の別例を示している。LGLE-Cは、凹状レトロリフレクタ(concave retro-reflector)64とACソースSBとで成るACリフレクタソースSCを備えた小型LG62のアクセプト面ASL(ターゲットTC)を照明する。このデザインは米国特許5509095で解説されている。

【0060】この従来技術例では、凹状プライマリリフレクタ(concave primary reflector)66は立体角68範囲のリフレクタソースSBから漏れる光を収集する。リフレクタ66の反対方向にエミッションボリュームEVSから漏れる光はレトロリフレクタ64によって収集される。このリフレクタ64はエミッションボリュームEVSの反転ミラー像(inverted mirror image)を効果的に発生させ、サブボリューム52の垂直な反転像はサブボリューム54に重ねられ、効果的なサブボリューム70Cを形成し、一方、効果的なサブボリューム72Cを形成する。両方のサブボリューム70Cと72Cのスペーススーパーポジションは、ソースSBとリフレクタ64で成る得られたリフレクタソースSCのエミッションボリュームEVSを形成する。

【0061】リフレクタ66で収集されたエネルギーはエンベロープ42を通過して、エンベロープ42の外周付近の右側、すなわちリフレクタ66の反対側の(クアジ)画像ロケーション(quasi image location)  $L_{Ipeak}$  に位置するセカンダリソースS' CのエミッションボリュームEVS' Cに焦点して戻される。画像反転及び画像拡大するリフレクタ66はLGLE-CのCCS-Cを形成し、垂直に反転拡大され、いくらか歪んだエミッションボリュームEVS' CすなわちセカンダリエミッションボリュームEVS' Cの像を発生させる。ロケーション  $L_{Ipeak}$  は典型的には画像平面74の軸座標として定義される。この平面74はエミッションボリュームEVS' Cを二分し、コンセントレーションビームの最大密度を含む。この画像平面74はCCS-Cのシステム軸28に垂直である。リフレクタ64のホール80はLG62の

アクセプト面ASLのポジションをエミッションボリュームEVS' Cの内側の最大密度ロケーション  $L_{Ipeak}$  とする。

【0062】図4に示す光線76はリフレクタ66の利用可能なミラー面に到達するサブボリューム54によって発生された最も垂直な光線を表す。垂直エミッションは電極48の先端で部分的にブロックされ、典型的にはコンセントレーションビームの軸非対称角エネルギー密度ファンクション(axial asymmetric angular energy density function)に導かれる。リフレクタ66での反射後に、光線76は反射光線78となり、エンベロープ42を通過し、エミッションボリュームEVS' Cのサブボリューム81を横断する。光線82はサブボリューム54からスタートしリフレクタ64の使用可能なミラー面に到達する最も垂直な光線を表す。ミラー64で反射した後に反射した光線84はサブボリューム52内に向けられる。垂直な軸を離れた光線ポジションの反転はリフレクタ64の画像反転現象(直交拡大(orthogonal magnification)レトロ-リフレクタ  $Mo = -1$ )のためである。これはサブボリューム52と54からのエミッションを修正し、有効なリフレクタソースSCのサブボリューム70Cと72Cを提供する。サブボリューム52の通過を継続し、光線84は、光線88をエミッションボリュームEVS' Cのサブボリューム内に反射させるプライマリリフレクタ66に到達する。同様に、光線90が図4に示されており、使用可能なミラー面の最も水平である延長部でプライマリリフレクタ66と交差する。得られた反射光線92はエンベロープ42を通過してサブボリューム81に戻される。光線78と92は一般的に画像平面74でオーバーラップしない。これはソースエンベロープ42によって引き起こされたセカンダリソース画像への光の歪みの結果であり、いくらかのエテンデュロスが発生させる。

【0063】図1と図2に示される非画像タイプのLGLE-AとLGLE-Bとは対照的に、図4に示されるLGLE-CのソースSCとSBのソース軸24はCCS-Cのシステム軸28に直交して配向されている。これでプライマリリフレクタ66は少々拡大させる画像反転システムとして作用し、クアジ画像ピーク密度最大化(quasi-imaging, peak intensity maximizing) LGLE-Cとなる。

【0064】図4に示される従来技術のLGLE-Cにおいて、ソースSBから発生された光線は、画像平面74に到達する前に3回または5回(光線がリフレクタ66とリフレクタ64のいずれに最初衝突するかによる)エンベロープ42の表面を通過して伝達される。エンベロープ42の光学特性とエクストラバルブ伝達(extra bulb transmission)による追加的フレネル損失(Fresnel loss)で、これはソース画像、すなわちエミッションボリュームEVS' Cに起因する滲みとなる。これで、最大

達成可能ピーク密度(achievable peak intensity)  $I_{peak}$  の制限と、この MLE デザインの関連エネルギー収集能力とに貢献する。さらに、電極 48 の先端はエンベロープ 42 を複数回通過する光の一部をブロックする。これでデリバリ率と、そのような LGLE のエテンデュ率 EE とが低下する。

【0065】図 5 は従来技術の PLE-AA をまとめている。これはターゲット TAA としての投影スクリーン 98 を照明するものである。ここで 1 つの反射性 LV100 として示される形状化可能な照射(configurable illumination)はこのタイプの LE の重要な光学要素であり、非常に均等に照射されることが重要であり、赤、緑及び青の密度の正しいバランスの提供が重要である。映写レンズ 102 は LV100 のアウトプットを収集し、拡大された形状化可能な照明ターゲットアウトプット密度画像(magnified configurable illumination target output intensity image)を映写スクリーン 98 に焦点する。LV100 は図 5 にオプション基準軸 104 と共に示されている。例えば、DMD™ または TMA™ (テキサスインスツルメンツ社またはデューエレクトロニクス社で製造) LV100 の場合には、軸 104 は個々のミラー要素のヒンジまたは傾斜軸方向にある。

【0066】図 5 に示す MLE-AA はオプションカラーホイール 110 を照明する。図 5 に示す要素のいくつかは図 2 のものと同一であり得ることを示すため、それら要素を示すのに同じ記号、すなわち、'-B' が使用されている ('-AA' の代用)。円形領域 ACW は、CCS-B を出るビームと、それぞれの軸エネルギー焦点距離  $L_{rms}$  付近に位置するカラーホイール 110 との交差領域を表す。対称または非対称のカラーホイール 110 は周期的に中間ターゲット領域 AT' に伝達可能なスペクトルエネルギーを制限し、スペクトル的にビーム 122 をリフォーマットし、選択された操作モードの LV100 との組み合わせで、選択された白色ポイントとカラー領域が映写スクリーン 98 上で提供されるようにしている。

【0067】伝達されたビーム部分は収集光学機器 116 で収集され、主としてビームホモジェナイザー及びオプションビーム断面形状コンバータ (beam cross sectional shape converter) (例えば、円形-方形ビーム形状コンバータ用の低エテンデュ率 ABT) として作用するオプション集積システム(integrating system) 118 に伝達される。しばしば、レンズまたは位相アレイペア (lens or phase array pair) または固形あるいは中空方形、非テーパ、剛性光ガイド(solid or hollow rectangular, non-tapered, rigid light guide)がビーム密度インテグレータ (beam intensity integrator) として使用される。典型的には、そのような集積対称ビーム変換光ガイド(integrating symmetric beam transforming light guide)は、LV100 のものに実質的に類似した (線

形スケールファクター(linear scaling factor)と固定オーバーフィル距離(fixed over fill distance)とを除く)である断面形状を有している。

【0068】カップリングレンズシステム(coupling lens system) 120 (SBT) は得られた照射ビーム 122 を、最低ビーム断面領域 AT を有したイマジナリ中間ターゲット(imaginary intermediate target) T' AA 上にコンセンレーションさせる。中間ターゲット T' AA のターゲットロケーションは、選択されたシステム制限(system constraint)に対する投影スクリーン 98 での照明不均等(illumination uniformity)と最大光レベルとの間の最良の妥協として選択され、典型的には LV100 のアクセプト面 ASLV と、投影レンズ 102 のエントランスビューピル(entrance pupil)との間に位置するように選択される。

【0069】2 つのオプションマスク 124 と 126 とが図 5 に図示されている。マスク 124 はカラーホイール 110 の出口側付近に位置しており、その画像は SBT で LV100 の方形形状体上に投影される。よって、LV100 の周囲領域に照射される余剰のエネルギー量を制限する。“シャインプラグ光現象(Scheinplug-optical effect)”によって、すなわち、LV100 に対する非主直入射モード操作(non-normal incident mode operation)で、それぞれのマスク 124 及び/又は 126 は、たとえ、一方の形状を他方の形状にマップ処理するために SBT が使用されても、LV100 の収集アパーチャとはいくらか異なる形状(例えば、マスクを 2 本の直交軸に傾斜させ、それを平面上に投射させることで、非方形形状となる)を有することができる。照明ビーム 122 の適切なロケーションの特別形状マスク 126 (米国特許 5442414 参照)は、軸的、非対称、角依存エネルギー密度ファンクション  $\theta_{out}(\Psi)$  を軸対称インプットエネルギービームから発生させるのにも使用が可能である。この特許も、軸対称ビームを軸非対称ビームに変換させることでデリバリ率を増加させるのに ABT を使用することを記述している。方位角  $\Psi$  は LV の基準軸 104 に対して便利に測定される。

【0070】図 5 は本発明との関係の基本的理解に必要な従来技術の PLE-AA の主要な光学要素を示す。一般的に、追加的な光学要素が光ビームをスペース的に操作し、LV100 あるいは、画素を有したそれぞれの形状化可能な照射ターゲットとカップリングさせるのに使用される。それらはインプットビームの拡散をスペース的に変更させ、それぞれ処理されたアウトプットビームを発生させる。他のタイプの PLE も同様に使用されている。

【0071】一般的には、ランプ S から発せられる色は適切に平衡していない。したがって、それらは、適切な白点と色全領域(color gamut)の生成のためのそれぞれの色チャンネルの総合的な輝度をバランス(均衡)させる

ために選択された色帯域(color band)の波長依存減衰(wavelength dependent attenuation)を行わずに使用することができない。特に、PLEに使用される多くの種類のランプは、指定された製品設計制約の範囲内で総合的な最適解決策を見つけるために特別なシステム設計選択を行わなければならないように、青または赤のどちらかが不足している(blue or red starved)。したがって、カラーホイール(color wheel)のスループット効率(throughput efficiency)に類似して、人は、色均衡(color balancing)の後に使用可能な光輝度の、色均衡前の総使用可能光に対する割合を表す色効率(color efficiency)を定めることができる。多くの種類のPLEがほぼ真の色画像を生成するために使用されているので、それらの設計は送達可能な光の総最小量(total minimum amount of deliverable light)、つまりルーメンによってだけではなく、最小必要色全領域範囲(minimum needed color gamut range)と白点選択(white point selection)に許容可能な制約(acceptable constraint)によっても制約される。いくつかの種類のPLE設計(3つのチップシステム、フィルムプロジェクタ等)は、使用可能なフ

ィルタ製造技術とそれ以外の物理的な設計制約によっても制限される。一般的には、PLE設計者は、最大画面輝度のために色忠実度(color fidelity)を犠牲にすることがある。しかしながら、この追加の設計制約は、一般的にはさらなる送達効率の損失(delivery efficiency loss)を生じさせる。

【0072】したがって、与えられた、あるいは指定された所定ターゲット用途と指定設計制約のためにLEを最適化するためには、人はまっさきにLEの送達効率を最適化することを考えなければならない。多くのケースでは、エテンデュ効率(率)EE、色効率(率)、およびスループット効率(率)TEが、費用と性能の制約設

$$E_s = n \iint_{\Omega_s, \Omega} \cos(\phi) dA d\Omega$$

によって放射測定を扱う多くの光学書で定義される。この場合、nは放射面ESsの放射側での屈折媒体(refractive medium)である。統合角度(integration angle)φとは、表面要素dAに対する垂線と立体角要素dΩの中心光線の間の角度のことである。二重積分が、関心のあ

る全表面要素dAと全立体角要素dΩ上で実行されな

$$E_s = \pi^* A_e * n^2 * \sin(\theta_h) * \sin(\theta_v) = \pi^* A_e * NA_{h,v}^2$$

この場合、Aeは放射面ESsの有効表面積である。NAe、hとNAc、vは、放射されたビームの有効水平及び垂直数値アパーチャ(numerical aperture)を表しており、垂直軸または水平軸のどちらかが、長円体の角を形成する放射パターン(ellipsoidal angular emission pattern)の主軸に平行である。角度θhとθvは、エミッション面または放射面ESsの出口側で屈折率nを有する媒体の内側の最大水平垂直放射角度θを表す。多

計のための最大送達効率(率)を達成するための主要なリミター(limiter)である。

【0073】LEとその光サブコンポーネント(optical sub-component)の光搬送(light transportation)または放射束移動効率(radiant power transfer efficiency)は、エテンデュと呼ばれるパラメータによって特徴付けることができる。エテンデュは、光ビーム(optical beam)の空間的および角を形成する物理的なサイズの純粋な“幾何学的な領域(geometrical extend)”と解釈することができ、定義に従えば、対象の波長領域内の統合されたエネルギーだけに依存するという単色数の値(monochromatic figure of merit)である。

【0074】説明のために、ソースと、垂直向きの平らな放射面またはアクセプトあるいは受領面を有する検出器の最も単純なケースがここで説明される。一般的なLE性能パラメータは、この例に基づいて定められる。説明は、当業者によって、曲面および体積(ボリューム)ソース/検出システムを含むように広げることができる。

【0075】本発明の根底を成す概念は、最初に、そのメイン放射エネルギー伝搬軸(mainmission energy propagation axis)に対して垂直に向けられている均質な放射面ソース(homogeneous emitting surface source)S(例えば、ランベルシャン(Lambertian)表面エミッタ)の特別なケースを考慮することによって最もよく理解される(不均質なソースのエテンデュを導き出すために、適切に荷重された総和(appropriate weighted summation)を、適切に選ばれた種類の均質なソースに関して実行することができる。)立体角Ω内のこのような均質な放射面ESsによって放射される光ビームのソースエテンデュEsは、以下の等式

$$\text{【0076】} \quad (1)$$

れなければならない。

【0077】調査されたビームが均質な楕円形をした角依存エネルギー密度関数(angular dependent energy density function)を有する特別なケースの場合、等式(1)は、以下の簡略化された関係を生じさせる。

$$\text{【0078】}$$

$$(2)$$

この場合、等式(2)は、放射面積Aeと角度θhとθvの有効(平均)値を使用することによって非均一エミッタ(non-uniform emitter)の正確なエテンデュ値に近似させるために使用することもできる。また、体積ソースは、その有効な出口または断面表面によって近似的に説明することもできる。

【0079】ソースSから放射される光は、垂直に向けられている受領面ASsによって遮ることができる。対



象の光ビームと表面  $AS_s$  のエネルギー受け入れ関数が空間的 (スペース的) に、および角的 (アングルの) に均質 (homogenous) であるケースでは、放射のケースと類似して、収集エテンデュ  $E_c$  と関連するアクセプト面  $AS_s$  が、対象エネルギービームを収集するそれぞれの収集領域 (collection area)  $Ac$  と定められる。等式

(1) または (2) の適切な値を交換することによって、収集エテンデュ  $E_c$  は、指定された受領面  $AS_s$  とその空間位置と配向性に対して求めることができる。このようにして、所定の場所と角配向性で指定されたビームに交差する指定された使用可能な収集表面面積  $AS$  に関して、人は、どれほど多くの入射光ビームの使用可能なエネルギーを最も効果的に収集できるのか、及び/又は指定された収集表面がどこで光ビームに最もよく交差するか、つまり、最大エネルギー収集のためには空間的におよび角的にどこに設置されるべきかを計算することができる。

【0080】自由に移動するビームのそれぞれに関して、収集エテンデュ  $E_c$  がその最小であり、その関連する収集領域  $Ac$  もその最小である少なくとも 1 つの受領面が存在する。このような面は、本発明では最小エテンデュ面 (MES) と呼ばれている。MES は、総使用可能ビームエネルギーの所定部分  $p$  の収集を可能にする最

$$E_{E_i}(p) \approx E_s^{in}(p)/E_c^{min}(p) / \lambda \leq 1 \quad (3)$$

この場合、 $E_c^{min}(p)$  は、指定された電力レベルを収集するために必要である  $i$  番目の光学システムを出る光の最小エテンデュを表す。同様に、 $E_s^{in}(p)$  は、入力ビームの  $p$  電力レベルのそれぞれの最小エテンデュである。このメリット比数値 (figure of merit ratio) によって、指定されたシステム “エテンデュ伝達” 性能の、 $EE=1$  を有する理想的に作動する光学伝達システ

$$TE_i(E) = (P^{out}(E)/P^{in}(E)) / \lambda \quad (4)$$

この場合、 $P^{out}(E)$  と  $P^{in}(E)$  は、指定された収集エテンデュ値  $E$  でのそれぞれ  $i$  番目のサブシステムの出力および入力ビームから収集可能な最大光電力 (maximum light power) 量である。

【0086】後述されるようなアクティブ (能動的) な光学システムの場合、指定波長バンドでの出力ビームの電力は一定の状況では (蛍光変換) では、入力ビームの場合より高くなる場合がある。

【0087】光学システムのエテンデュ効率  $EE$  とスループット効率  $TE$  は関連したパラメータである。第1のケースでは、入力電力は固定されており、その割合は、入力ビームのエテンデュが、指定された光学システムを通る指定ビーム伝達中にどのくらいの量で増加したのかを決定する。第2のケースでは、エテンデュ値  $E$  は固定されており、その割合は、使用可能な入力電力のどのくらいの量を指定された光学系を通して伝達できるのか (損失または利得) を判断する。これらの公式は、波長

も効率的な (最小) 収集表面と解釈することもできる。

【0081】受動的な光学系用の放射輝度 (エネルギー) 保全定理 (radiance conservation theorem for passive optical systems) は、光ビームのエテンデュ値は、それが理想的な光学システムを通して伝達されるとき、つまり  $E_c \geq E_s$  のとき、減らすことはできないと述べている。ちょうど熱力学的系のエントロピーのように、いったん光ビームのエテンデュが (例えば、特定の  $CCS$  または  $LG$  を使用することによって) 増加すると、ビームの空間的な特徴と角的な特徴をさらに修正するためにどのような種類の追加の受動的な光学システム (passive optical system) が使用されようとも、それを再び減らすことはできない。それが、指定された光ビームのエテンデュが、指定されたアパーチャ制限光学システム (aperture limited optical system) のスループットに関係している理由である。

【0082】指定された  $i$  番目の光学システムによる指定された電力レベル  $p$  の伝達の結果生じる光ビームのエテンデュの相対的な増加を定量化するために、エテンデュ効率  $EE_i(p)$  と呼ばれている割合パラメータ (ratio parameter) がここで以下のように定められる。

【0083】

ムの性能との比較が可能になる。

【0084】同様に、指定された入力ビームの指定された (受動) 光学  $i$  番目サブシステムのスループット効率  $TE_i(E)$  は、以下に述べられている割合として定められる。

【0085】

依存システムの特徴付けも可能にするために、必要に応じて拡張することができる。

【0088】指定されたターゲット  $T$  とソース  $S$  の  $LE$  の送達効率  $DE$  は、ここでは以下に述べられている割合として定められる。

【0089】 $DE = P_T / P_S$  (5)

この場合、 $P_T$  は、指定されたターゲット  $T$  に送達可能であるだけでなく、それによって使用することもできる照射光のパワー (optical power of illumination) を表している。 $LE$  のビーム再形成能力 (beam reforming ability) だけではなく、ソースエネルギーの放射タイプも、多くの場合、送達された光エネルギーのどのくらい多くが、実際に、指定されたターゲット  $T$  によって使用できるのか、つまりその受け入れ基準値 (acceptance specification) の範囲内にあるのかを判断する。パラメータ  $P_S$  は、関連ソース  $S$  によって放射される総光電力 (optical power) 量を表し、ノーマル化あるいは正

規化(normalization)の目的に使用される。このようにして、指定されているLEのこのグローバル送達効率(global delivery efficiency)DEは、ソースSによって放射される光のどのくらいの量をターゲットTにカップリングできるのか、およびそれによって使用できるのかを特徴付ける。同様に、局所送達効率DEは、Psの代わりにその入力電力レベルPinを正規化値として使用することによって指定された光学サブシステムに関して定めることができる。したがって、それぞれの送達効率値DEは、直接的にLEの、またはその光学サブシステムの1つのそれぞれの効率を表す。

【0090】本発明のLE設計は、エテンデュが制限されているターゲットTに関するまさに送達が効率的なLEの好適な重要設計役割につながる2つの主要な概念と第3の補助的な概念との結合された認識に基づいている。つまり、1)クアジまたは擬似イメージング(quasi-imaging)とスルーブット効率MLEを使用し、それから2)必要に応じて、マッチしたABTにより角のおよび断面のビーム特性を非対称的に形成し直し(reshape) 20、3)また、必要に応じて、ターゲットTのさらに効率的な照明のために送達効率領域/角度変換遠隔エネルギー送達システムを構築するため、それをビームスケリング(beam scaling)とビームステアリング(beam steering)のためにSBTと組み合わせ、ビームステアリングとシェーピング(shaping)のための非イメージ機器(non-imaging optic)と組み合わせる。

【0091】第1の概念は、従来の技術のLEの大部分において、最大エテンデュおよび/またはスルーブット効率損失のおもな部分は第1ビーム再形成段階、つまりMLE段階で発生するという理解に基づいている。つまり、典型的には、非対称ソースSは、対称セカンダリあるいは2次ソース(secondary source)S'に変換される。関連するエテンデュ損失の理由の理論的な分析(領域の増大、および/または部分的なエネルギー収集と変換のみ)は、従来の技術のLEとは対照的に、それぞれのMELのCCSが、最良では、擬似イメージング(quasi-imaging)の、および高収集と高エテンデュ効率タイプの両方でなければならないという第1の好適概念に導く。理想的には、MLEは、使用できないエネルギーの少なくともいくらかを使用できるエネルギーに変換する能力も持たなければならない、このようにしてアクティブな光学システムを形成する。これが、とりわけ、実質的にはソースSと同じエテンデュを有するが、さらに大きいそれぞれの断面領域/アパーチャと、関連するさらに小さく、管理が容易な放射立体角(emission solid angle)を有する、非対称的および空間的に拡大された放射ソースSより管理が容易で、非対称的に放射する二次ソースS'への非常にエテンデュ効率的な角度/領域変換に関してABT自体として特に優れた仕事をする、後述の好適MEL設計の発明につながる。

【0092】第2の概念は、指定されたターゲットTの所定の照明需要に関して好適なMLEのエテンデュ効率的な出力ビームの送達効率をさらに高めるためには、追加エテンデュ効率的ビーム再形成ツールが必要であるという理解に基づいている。

【0093】追加の理論的な分析によれば、等式(1)から(5)のどれも、それぞれの収集表面領域Aの形状、または立体角度Ωのそれぞれの角依存エネルギー密度関数の形状を制限しないことが示された。それぞれの総面積と総立体角値だけが、ビームのエテンデュ評価に関わり、それらの値の“積(product)”だけがせいぜい保存される。

【0094】したがって、本発明の第2の好適概念は、特に非対称ビームおよび/または非対称ターゲット照明需要に関し、非線形および/または対称的な形状、および/または角度変換ツールが必要とされるという認識に基づいている。本発明の多様な好適実施態様の説明で以下に示されているように、適切にマッチしたABT設計解決策(特に、中空のまたは特殊な入力ポートと出力ポートの備えのある立体光ガイド(solid light guide)) 20が多数の場合に発見できる。(特定の設計制約に関して非常にエテンデュ効率的であるように設計できる)これらの好適ビームリフォーマット装置'(reformatter)が好適MLEとターゲットTにマッチされると、エテンデュが制限されているターゲットに関して以前に可能であったよりはるかに高い送達効率を有するLEを設計することができる。

【0095】本発明の第3(補助)概念は、それぞれABTと、特にLGの入力ポートと出力ポートが、必要なおよび/または所望の複数のビーム再フォーマット能力および(局所)ビームステアリング能力を、遠隔エネルギー輸送および/または領域/角度変換能力と結合できるように製造可能である、および/または補助的な光学イメージングおよび/または非イメージング要素と結合させることができるという認識から生じている。これは、特殊化された照明タスク用にカスタマイズされたコンパクトな高効率LEを作る上で有効である。

【0096】従来の技術のLEの非効率率は複数の段階で発生するため、後述された本発明の多様な実施態様は、LEの選択された段階をどのようにして改善できるのか、および送達が機能強化されたMLE、LGLE、ABTLE、PLE等を形成するために、さまざまな要素をどのように結合できるのかを示す。

【0097】本発明に従ったエテンデュ効率MLEの基本的な概念は、単軸システムに関して図6と図7に図示されている。図6は、好適実施態様の1つのグループに関して水平な(ランプ軸平面)断面図であり、図7は、好適実施態様の別のグループのそれぞれMELの垂直断面(ランプ軸に直行する平面)図を示す。図6と図7の両方に示されている基本的な好適MLE設計は従来の技

術のMLEとは異なり、それによって、本発明のMLEが、詳細に後述されるようなエテンデュ効率的、スループット効率的、送達効率的なMLEとなる。

【0098】好適MLEは、前述されたように、実質的に、大幅に削減された放射立体角 $\Omega < 4\pi$  ステラジアンに放射する効率的反射体ランプ(reflector lamp) S F、SG等を、ソースSとともに形成する主要曲率半径(primary curvature radius) R0であるRS140から構成されている。それは、さらに、それぞれの反射体ランプによって放射される光の大部分を収集し、それをソ

ースSの回りとMES144に向かって集中させる主要反射体システム(primary reflector system) (PRS) 142から構成されている。この集中したエネルギーは、少なくとも1つのそれぞれの出口ポート146を通してそれぞれのCCS-F、CCS-G等から漏れる。

【0099】本発明は、特に、空間的に拡張された放射ソースSに関連し、特に角非対称エネルギー放射密度関数(angular asymmetric energy emission density function)をも有するものに関する。このようなソースは、好ましくは、DC-型またはAC-型の電極と、DC-電流またはAC電流またはHVパルスを、電磁エネルギー放射材料用の付勢手段として使用するか、あるいは電極のないマイクロ波で動力を供給される壁安定化型(wall stabilized type)である、フィラメント灯、ガス放電アーク灯、炭素アーク灯、単一エンベロープ、二重エンベロープを有するか、エンベロープのない、あるいは出口ポートとしての出口窓のある、凹状の密封された反射体システムを形成するエンベロープを有するランプであるか、それともレーザで動力を供給されるX線エミッタ等を含むレーザ生成放射領域(laser generated emission region)であり、このようなエネルギー放射材料が純粋タングステン(トリエート化(thoriated)またはBI含浸されたタングステン)、炭素、またはXe、Ar、Kr等のような希ガスを含む一連のガスのどちらかであり、多くの場合、Na、S、Ka等だけではなくその成分の主要な部分としてHg、および金属ハロゲン化物塩の組み合わせも含む。電極とエンベロープのあるランプの場合には、内側エンベロープの内壁からデポジットされている電極材料を取り除くために、ハロゲンを含む分子および/またはそれ以外の気体手段(gaseous means)を有することが、多くの場合に好まれる。また、好ましくは、対象の波長バンドに関して、および/または使用不可能なエネルギーバンド(例えば、IR、UV)でのオプションの反射コーティングに関して、内側エンベロープの外面上に無反射コーティングを有する種類のランプもあり、このようなコーティングはエンベロープの動作温度に耐えることができる。例えば、内側で赤外線をトラップし、それをフィラメントに反射し直すためには、多層誘電コーティングがタングステンハロゲン自動車ランプに使用され、このようにしてフィラメントを

その動作温度まで加熱するための電気エネルギーの最大30%を節約する。

【0100】指定された収集エテンデュ値Ecの場合、関連するMES144が、前述されたように存在する。

(1つまたは複数の空間的に隔離されている表面ASiから構成されている)このMES144は、指定収集エテンデュ値Ecの場合にそれぞれのエミッションボリュームまたは放射量(emission volume) EVs'からの最大エネルギー収集を可能にする方法で、等式(1)または(2)に従って選択されるのが望ましい。

【0101】それぞれのPRS-FとPRS-Gが、それぞれのCCS-FとCCS-Gを形成する。それらは、CCS-Cとは逆に、ソースエネルギーの大部分がエンベロープ42の回りで(それを通らずに)カップリングするように、ソースSとセカンダリソースS'の間に十分な距離のある擬似イメージング型CCSとなる。適切な選ばれた反射体がPRS142とRRS140に関して拡張された状態で、これらの好適CCSが、とりわけ、MES144の頂点場所LE近くで集束する緊密に集中可能なビームを発生させることができ、後述されるように、さらに高いスループットとエテンデュ効率を達成する。

【0102】好適なMLEデザインは、(それぞれのセカンダリエミッションボリュームEVs'Fを通る一定の収集強度(collection intensity)の断面等高線のフリップ図(flipped view)を表す破線として図6に図示)より歪みが少ない、したがってさらに小さく、さらにエテンデュで、スループット効率的なそれぞれのセカンダリソースイメージを発生させる。指定されたソースSと指定されたエンベロープ42の、およびy方向でのそれぞれのCCSの指定された最大高さ拘束のスループット効率TEを最大化するためには、ソース軸24とロケーションLEの間の距離、つまり最大垂直発散角度(maximum vertical divergence angle)  $\theta_v$ が、好ましくは、PRS142の指定されたソース封鎖(source blockage)損失とそれぞれRRS140の直接的な光収集損失が実質上同じサイズ、つまり $\Delta \approx \delta$ であり、 $\Delta$ と $\delta$ が図7に示されているそれぞれの“失われた”角放射エネルギー密度関数(ファンクション)のそれぞれの角拡張(angular extend)であるように選ばれる。ソース封鎖(遮蔽)損失は、ここでは、反射体システム142によってソースSの(周囲ではなく)内部に反射され、ソースSの光学および機械的な封鎖効果のために、エテンデュ効率的にはそれぞれのMES144に到達せず、したがって、それぞれのエテンデュ制約エネルギー収集のスループットには貢献しないソースSから放射される光のパーセントとして定義される。

【0103】あるいは、ソースSとセカンダリソースS'の間の距離、つまり場所(ロケーション)LEは、結果的に生じるCCSが、事前に選択された最大垂直角

度が $\theta_v$ および/または最大水平角度が $\theta_n$ である光を送達するように選ぶこともできる。しかしながら、一般的には、この解決策は、均衡した損失デザイン解決策、つまり前述された $\Delta \approx \delta$ より、2つの部分の反射体デザインによってややスループット効率が低い。

【0104】明らかに、費用、重量、およびサイズが重要である多くの用途にとって、最大スループット、つまり $\Delta \approx \delta$ に設計される2つの部分から成るエテンデュ効率反射体(リフレクタ)モジュールは、図7に示されているもののように、最大垂直凝集(コンセントレーション)角(maximum vertical concentration angle)  $\theta_v$ がもはや設計入力パラメータ(design input parameter)ではない可能性がある場合にもその利点を有する。本発明のそれ以外の好適実施態様は、後述されるように、エテンデュ効率であるだけでなく、広範囲の所望の出力放射角度(output emission angle)も送達できるLEを構築することを可能にする。これは、複数部分から成るRRSで、および/または適切なABTとの組み合わせで可能である。

【0105】本発明の別の好適実施態様は、単一要素主要逆反射体(single element primary retro-reflector) 148を一次曲率半径R0と結合することによっていくつかの型のランプの好適MLEのスループット効率を高め、少なくとも1つの第1補助凹状逆反射体(auxiliary concave retro-reflector) 150が、さらに高い総収集効率を有するそれぞれのRRS 140を生じさせるために、異なる一次曲率半径 $R_1 < R_0$ を有する。特に、特別に設計されている補助逆反射体は、それ以外の場合、効率的に収集できないエネルギーの一部を、それを直接的または間接的のどちらかでMES 144に向かって方向転換させるソースSの放射領域の中に収集し、集束し直すために使用することができる。このような可能な直接的な方法は、例えば、エネルギー放射領域の内側で発生する散乱効果を含む。つまりi) 相互作用する光子の伝搬方向だけを変更する弾性散乱効果(elastic scattering effect)、およびii) 光子が最初に吸収されてから、他の波長バンドと方向で複数の光子として放射される非弾性的散乱効果(蛍光変換等)である。可能な間接的な方法は、追加エネルギーを、間接的に放射領域をさらに放射性にする放射領域に提供することによる。例えば、熱は、異なる化学成分構成を生じさせ、それから付勢される媒体等の光学放射と光学伝達の特性を変更することのあるさらに高いガス圧力を引き起こすことがある。このようなスペクトル再形成効果は、さらに後述されるだろう。言うまでもなく、非線形光子と物質との相互作用と多くのそれ以外の直接的または間接的な相互作用も発生することがあり、および/または選択された材料の選択を通して意図的に高めることができる。

【0106】図7は、PRS 140のそれ以外の場合、有効ではないセクションが、補助的な凹状の逆反射体セ

クション150の好適形状と置換されるような好適実施態様を示す。この補助的な反射体150は、好ましくは、ソースSから見てほぼ $\Delta$ という有効角拡張(extend)を有する。その曲率は、好ましくは、収集され、それ以外の場合には電球で遮られた光を(PRS 142が、図6の中に示されているその単一凹状反射体形状の実施態様で行うように、ソースSの取り囲む近隣の中にそれを方向転換させる代わりに)実質的にそれぞれの放射領域の中に直接的に再焦点させるために、またはRRS 140の残りが焦点する領域の中にそれを焦点するために選ばれる。同様にして、曲率の一次半径(primary radius)が $R_S > R_0$ である少なくとも1つのそれぞれの第2補助逆反射体152は、出口ポート146を通してそれ以外の場合直接的に逃避するであろう光の一部を類似した方法でレトロフォーカス(retro-focus)するために使用できる。反射体152は、CCS-Gによって集中した光の一部がそこを通過して逃れるそれぞれの出口ポート154を有し、一次逆反射体(primary retro-reflector) 148があるよりさらにソースSからさらに遠い適切な距離に設置される。出口ポートが適切な大きさに作られている適切な数の補助逆反射体を使用することによって、ソースSから放射される光のほぼ100%が、(たとえ光が4πステラジアンに放射されても)収集でき、その大部分が、選択された最大垂直集中角度 $\theta_v$ を有するビームにフォーカスできる。

【0107】補助逆反射体150と152を備えた反射体システム140と142が、2種類の不安定な共役反射リングキャビティ(unstable, conjugate, reflective ring-cavity)を形成するために使用できる。第1タイプは共焦点であり、第2タイプは双焦点リングキャビティであり、第2タイプはシステム軸28から非対称的にオフセットされている2つの焦点領域を有し、第1タイプはそれぞれ互いにオーバーラップする2つの中心焦点領域を有している。このようにして“トラップ(trap)された”光は、ソース放射領域の内側から、PRS 142の方向へ向け直されることによって、あるいはシステム内のどこかで吸収されることによって、あるいは前記出口ポート146および/または154等に向かって方向付けされること等でそれぞれのリングキャビティを逃れることができるだけである。このようにエネルギーを方向変換させる効果は後述する。ソース封鎖効果が大きいほど、つまりそれぞれのPRS 142がエンベロープ42の直径に対して小さいほど、このような損失回復方法はさらに価値を持つものとなる。

【0108】このような好適なタイプのMLEの総スループットは、エンベロープ42の伝達効率だけではなく、とりわけPRSとPRSの反射率に依存する。例えば、86%から96%までの反射体の反射率は、17%の正味出力利得を生じさせる。反射率損失のこの1.17Xの減少は、PRS 140に向かって放射されている

光は少なくとも2回反射され、放射された光の約50+%が、PRS 142によって直接収集されているという事実のためである。同じようにして、無反射コーティングでエンベロープ42の外壁のフレネル反射係数を4%削減することによって、好適MLEの約7%という正味スルーポット効率利得が生じる。反射体150および/または152のような前述された好適補助反射体で部分的に回復可能である“失われた”光の量は、部分的には使用されているソースSの種類、それぞれの補助逆反射体の収集のパーセンテージ、およびエテンデュ効率的に収集されたエネルギーをレトロフォーカスするその能力に依存する。特に、金属ハロゲン化物ランプは、後述されるように、好適MLEで使用されるときに望ましい蛍光変換能力を示す。

【0109】図6では、説明の目的のために示されているソースは、逆反射体140とともに、エミッションボリュームEVSFと2つのそれぞれの副(放射)ボリューム70Fと72Fを有する有効逆反射体ソースSFを形成するAC型のアークソースSBである。この説明はAC型アークソースを利用するが、本発明はこのようなソースだけに限られることを意図されていない。ここに示されている教示によって、当業者は、本発明を、対称および非対称の無電極エミッションソース、ソリッドステートソース(solid state source)、X線放射ソース等を含むそれ以外の電磁エネルギーソースにも適用できる。図6に示されているように、電極48は電気エネルギーを2つの対称的な電極48の先端の間で形成されているプラズマアークに送達し、オプション的に、凹状の一次反射体142および/または凹状の逆反射体140に関してソースSBを固定するための機械的な取り付け具としても役立つ。2つの反射体システム140と142は、ほぼ完全にソースSBを封入する。

【0110】空気が、2つの反射体140と142によって形成されている反射キャビティに入る、および/またはその中から出ることができるようにするオプションのアクセスポートは、図6または図7に図示されていない。このようなアクセスポートの中へ空気を吹き込んだり、このようなアクセスポートから空気を吸い込んでソースエンベロープ42の局所的な過熱を防止し、および/または電極48のランプポスト44と46のガラスと金属との間をシール処理し(例えば、モリブデンシール)、および/または反射体システム140と142の反射コーティングおよび/または反射体の温度を指定された損傷しきい値温度以下に保つことが必要である。すべての重大なパーツが機械的にロックされ、気密的に密封されるか、密封されていない複合反射体ランプを効果的に形成するために、反射キャビティに関して電極を固定するために、オプションの固定材料143(セメント、エポキシ樹脂、はんだ等)を使用することができる。

【0111】図6は、出口ポート146が反射体140内の貫通穴である設計を示す。図7は、一次逆反射体148のバルク材(bulk material)が対象のエネルギーバンドに対して実質的に伝達性(transmissive)であり、反射コーティング198が、伝達性の出口ポート146が作成されるように、反射体148の内側および/または外側に局所的に塗布されている別の好適実施態様を示す。オプションで、伝達性反射体材料は、対象の波長領域に対して少なくとも片側に無反射性の被覆処理が施され、オプションとして他の波長に対しては反射性であり、出口ウィンドウあるいは窓(exit window)199、つまり出口ポート146を通る使用可能なエネルギー伝達を増加させる。このような部分的な反射被覆出口窓199は、RRS 140の補助的な逆反射体としても解釈することができる。

【0112】典型的に擬似対称であるエンベロープ(quadri-symmetric envelope)42の光学特性は、それぞれのCCSのイメージング能力または作像能力に大きな円筒形及び高位の光学歪みを生じさせ、補正されていないMELのエテンデュ効率を減少させる。したがって、本発明の好適実施態様は、PRS 140に、ソース軸24すなわちエンベロープ42の“対称”軸と共線である対称の軸を持たせ、エンベロープの歪みを矯正させるようにデザインされている非球面カーブを持たせ、理想的にはレトロフォーカスされたソースイメージが、そのソースのソースイメージと(イメージ反転の場合を例外として)同じであるようにさせる。別の好適球形状逆反射体形状(spherical type retro-reflector shape)への第1オーダ(first order)の好適補正は、エンベロープによって引き起こされる画像シフトが、中心を外れて設置されている球形状逆反射体で達成できるもの以上に低減されるように選択されるドーナツ形の反射体である。長いアークAC型灯および/または長く薄い円筒型放射ゾーンの場合、楕円形の反射体の適切に配向されているセクションはさらに優れた逆反射体であり、それも非球面補正でさらに改善することができる。同様に、やはり逆反射する要素である補助セグメント150と192は、エンベロープ42の非点収差焦点イメージ移動(astigmatic focus image shifting)の影響を補償するために、理想的にはソース軸24と同じ軸対称であって、十分に球形の補正が施されていないからではない。エンベロープ42が軸に沿って対称ではないケースの場合、同じデザイン最適化が適用される。つまり、放射方向ごとに、それぞれの逆反射するミラー要素は、理想的には非拡大、反転ソースイメージが形成されるように、エンベロープ42によって引き起こされる、ビーム通路の他の光学要素の光ビーム偏差(optical beam deviation)を補正する必要がある。

【0113】前記説明から、反転イメージ、空間的対称放射ビームのエテンデュがこのようにして実質的に保存

され、寿命が長く、製造コストが低く、スペース的にさらに均質な出射ビームを発生させるので、AC型またはそれ以外の型の空間擬似対称放射ソースが多くの場合に好まれる。DC型ソースのような非対称型放射ソースの場合、アーク間隙長(arc gap length)は、指定されたターゲットまたは収集領域/アパーチャへの送達効率が最大となるように、好ましくは、反射体軸28からのそのアーク間隙長より短めにオフセットされる。

【0114】図8は、図6に示されているMLE-Fデザインの理想的な構成要素での数値モデリング(numeric al modeling)を通して得られ、(計算目的で、LEに設置されている垂直平面として近似)MES144の、計算スペース依存強度分布(spatial dependent intensity distribution)SI(x, x; S')の等高線を示す。使用されている一次反射体142は、反射体142の(頂点とも呼ばれる)左頂点から26mmの第1(F1)焦点距離および100mmの第2焦点距離(F2)で軸対称長円形状を有していた。逆反射体140は長円形であるが、bz=bx=67mmという副軸(miner axis)も有し、両方の焦点が、対称軸28(z軸)からソース軸24(y軸)の方向で1mm偏位している。結果として得られるMLER-Fの非対称の直交最大発散角度は、99%エネルギーカットオフポイント(cutoff point)に対して、 $\theta_h \approx 23$ 度および $\theta_v \approx 29$ 度であり、各CCSは、最大幾何学コンセンレーション角(geometrical concentration angle)または角発散(angle divergence) $\theta_v = 30$ 度を有するように設計された。

【0115】図9は、角依存エネルギー密度関数の等しい入射エネルギー/ステラジアン(steradian)の等高線を示す。これはAT( $\phi, \Psi; S'$ )で表され、MLE144に入射する水平及び垂直投射光の角度の方向性コサイン(directional cosine)によって定まる。“A方向”として表された座標軸は、水平方向余弦、つまり $\cos(\theta_h)$ を表す。“B方向”とラベルされた軸は、対応するランプ軸直交方向コサインを表す。図6と図7に示されている角度 $\theta_h$ と $\theta_v$ は、それぞれのコンセンレーション角 $\theta$ の有効水平最大値と有効垂直最大値を表す。図9では、AC型ソースSBの収集エネルギー密度関数の特徴的な角依存砂時計型非対称断面形状である。図9の中のグラフの上に重なっている太線155は、 $NA \leq 0.5$ 、すなわち $\theta \leq 30$ 度という対称ビームの角収集アパーチャを表す。(最も中心に近い部分を無視)砂時計形状と完全円の間の領域は、砂時計の形をした立体放射角 $\Omega_e$ の約44%を表す。つまり、このような軸に沿った非対称ビームのエテンデュは角スペースを均一に満たすビームのエテンデュの約60%であり、それは、理想的には、出口ポート146の断面形状も、それぞれのMLEの送達効率を最大化するためには(円形の代わりに)砂時計形状であることを意味する。

【0116】エネルギー伝達損失(スループット効率損

失を生じさせる封鎖損失(blockageloss)の複数の明瞭な領域は図9で特定することができる。図9に示されている“レーダー”グラフの左極と右極の“極性キャップ(polar cap)”で欠けているエネルギーは、おもに、電極48の先端およびランプポスト44と46の陰影効果(shadowing effect)の結果である。つまり、それらはソースSBの放射ボリューム(体積)EVS Bから幾分かの高角度垂直光線の放射方向を遮るからである。エンベロープ42の周縁部を通してほぼ接線方向に移動する光線によって引き起こされるグラフの中心を取り囲んでいるエネルギーが不足している環状リングが存在する。それらの光線に対して、エンベロープ42の屈折特性は、それらが、好適なMLE二次放射体積(エミッションボリューム)EVS'F内に配置されている有限収集領域を通過しないように、大きな拡散曲現象(propagation bending)を生じさせる。したがって、好適MLEのためには、エンベロープ42の光ビーム伝達特性とともに、エンベロープ42の断面領域だけではなく、電極48およびランプポスト44と46のシステム軸28に垂直な断面領域は、エンベロープ42、ワイヤ48およびランプポスト44と46の実質的周囲でMES144に送達できる収集された光量に対して(部分的には反射体システム140と142のサイズに依存)重要な影響を及ぼすことがある。

【0117】このようなランプポスト妨害の規模は、反射体142の焦点距離に対するランプポスト44と46の相対的な断面幅と形状に影響される。同様に、電極先端部による妨害の規模は、エミッションボリュームEVSのアーク長Lと幅W(電力レベルに依存)に影響され、エンベロープ42と組み合わせて選択されたRRS140のイメージング品質およびシステム軸28に対する放射領域の空間的なポジショニングに影響される。指定されたソースSの場合、MLE設計者は、このようにして物理的なシステムサイズと反射体システム140および142の複雑さを、最大達成可能送達効率DEと引き換えにしなければならない。

【0118】好適なMLEの別の重要な利点とは、従来の技術のMLE-AとMLE-Bとは逆に、ランプポスト44と46の端部は両方とも、好適CCSの外側に、またはそれ近くに設置することができるという点である。これによって、エンベロープ42の動作パラメータをさらに個別に制御することを可能にする、さらに均一に、およびその最適動作温度にさらに近くで動作できるようにし、さらに優れたアクセス、したがってさらに良い温度制御能力(冷却)を提供する。

【0119】図3Aとの図8の比較で、好適MLE-Fが、元のソース画像の空間依存グローバル特性(spatial dependent global characteristic)の大部分を保存することができるが、局所的なレベルではいくぶん画像を歪める擬似イメージングシステムであることを示してい

る。図9で観察可能な、結果的に生じる局所的な画像の歪みと、異なる直交画像拡大、つまり $M_x \neq M_y$ は、部分的には、i) コンセントレーションした出射ビームのx軸(ランプ軸)とy軸の非対称角発散(asymmetric angle divergence)、ii) 放射領域の形状の三次元性ととも、放射領域の大部分に対する軸を外れたエミッションロケーションとなる放射領域のスペースエクステン

10 ド、iii) 部分的には、補正されていないソースイメージの歪み(エンベロープ42による)のためであって、xz平面とyz平面での異なる軸に沿った焦点箇所となるもの、およびiv) 垂直な収集平面を備えた理想的なMES144の近似のため、つまり画像“平面”曲率を無視すること、に帰することができる。例えば、CCSFはわずかに軸を離れて動作する。つまりサブボリューム70Fと72Fの中心は、システム軸28からオフセットされており、軸を外した画像収差誤差(off-axis image aberration error)と曲状画像表面すなわちカーブしたMES144に寄与する。所定の収集効率に対して、このような画像歪みは、多くの場合、理想的な収集面積よりいくぶん大きくなる。等式(1)から

(3)に従えば、これはエテンデュ効率の損失を生じさせる。したがって、このような二次ソース画像の拡大は、好ましくは最小限に抑えられる。

【0120】本発明の別の好適実施態様は、それぞれのCCSの基本的な好適軸対称形状に、軸に沿った非対称補正要素を追加することによって、好適なMLEの送達効率を増加する。例えば、PRS142の適切に設計されている円筒補正要素を基本的な長円形の反射体表面に追加すると、二次的なソースS'のランプ軸24方向でのイメージ伸縮を削減することができ、したがって、それぞれのCCSのエテンデュ効率を高めることができる。このような補正要素は最適には、例えば、エンベロープ42、出口ポート190を形成しているソリッド窓(solid window)、カラーホイール、光学バンドパスフィルタ、空間的に多様なカラーチャネルを分離するカラーキューブ等によって引き起こされる多様な光学的画像歪曲を補償するように設計されている。同様に、軸対象PRRSをソース軸24(あるいはさらに一般的には汎用非球面形状)と対称同一線上にある軸とともに使用することによって、ソースS近くで(おもにエンベロープ42によって引き起こされる)逆反射されているビームのイメージ焦点の非点収差を削減することができる。これによって、電極48の先端の間の逆反射されたエネルギーの大部分の“絞込み(squeezing)”が可能になり、それによってそれぞれのCCSシステムのエテンデュ効率とスルーput効率が高められる。

【0121】与えられた収集領域に対して、さらに小さい二次ソースS'イメージは、放射されたソースエネルギーの大部分を収集できるようにする。それは、また、ソースSの放射領域が、大きな、スペクトル変化空間エ

クステン(例えば、金属ハロゲンランプ)を有するいくつかのLE用途(例えばPLE)でさらに送達効率を高めることができる、大きなエミッション領域からの効率的なサンプリングを提供する。エンベロープ42の非対称光学特性に関しては、非対称補正要素は、考えられる最高のエテンデュ効率EEを達成するために、基本的な形状に加えられる必要がある。実践的な製造理由から、多くの場合、光学的な汎用非軸対称非球面形状より製造するのが容易であり、このような補正を行わないで得ることができる効率に優る改善された送達効率を達成するために、それぞれのLEとともに最適化された、軸対称擬似楕円と擬似球または擬似トロイドの反射体形状を選択することもできる。

【0122】図3Bの図8との比較により、非イメージング(non-imaging)の従来の技術のMLE-Bで達成できるものを超えるソースSの局所的小さい大域的な空間放射特徴を保持し、このようにしてターゲットTによって収集可能で使用可能な光の総電力レベルPTを得るために、さらに小さい収集領域を提供する、擬似イメージングMLEの好適実施態様のイメージング能力の秀逸さが明確に示される。これらの図は、AC型ソースを備えたMLE-Fの矩形形状をしたビーム断面のために、非イメージングMLE-AとMLE-Bの丸いビーム断面形状で可能であるよりも優れた収集効率が、矩形ターゲットTによって達成できることも示している。このような矩形ターゲットが細長いほど、一般的にはこの(幾何学的な形状に基づいた)カップリング効率の利点は大きくなる。すなわち、本発明を利用すると、さらに長いアークギャップランプはその長さ文だけ矩形ターゲットTの中にさらに効率的にカップリングされる。それぞれさらに長いアークギャップ最適化ランプSがこのようなLEで使用されると、さらにランプの寿命が延び、電気から光への変換効率は改善され、アーク先端部の妨害が減少して放射角度が広くなり、さらに幅広いバンドの光放出と収集が可能になる。

【0123】上記の分析より、MLE-Fを出る光を最もエテンデュ効率的に収集するためには、それぞれの光収集領域Acが二次ソースS'Fの2つの強度ピーク(intensity peak)252と159を取り囲む、1つまたは複数のサブ領域Aiに配分されなければならない。好ましくは、これらのサブ領域Aiの断面形状は、高い方の強度領域を封入する等しい相対的ピーク強度の等高線の形状を有する。図3Bと図8でASLと記されている太い円形と楕円形の線は、例えば、 $A_c = 19.6 \text{ mm}^2$ という最大総収集面積を有するそれぞれ最良のアクセプト面ASiの収集オーバーチャを示す。

【0124】図8と図9は、図2、図3Aおよび図3Bに示されている従来の技術のMLE-Bの対称出力ビームとは反対に、それぞれの二次放射体積S'Fの空間角依存放射特性が軸に沿って非対称的に形成されているこ

とを示す。さらに具体的には、MES144では、角発散はさらに狭くなり、最適収集領域は、好ましくはランプ軸24の方向で長くなる。したがって、図8の太線で示される収集面ASLは、それぞれの(効果的)放射面と収集面、およびそれらの角依存エネルギー密度関数が、エテンデュ効率的に互に変換できる場合には、与えられたターゲットTに対する最大カップリング効率にとって最適である。

【0125】ソースS' およびターゲットTの収集アパーチャCA(x, y; T)の有効放射アパーチャEA(x, y; S')の形状(例えば、マスク)が線形スケール関数(linear scaling function)、つまり $k > 0$ であるEA(x, y; S') =  $k \cdot CA(x, y; T)$ によって互に変換できる、軸対象ビームの場合、および対称アクセプト角のターゲットの場合(例えば、なんらかの種類のLV、形状化可能な照明ターゲット、およびLG)に対して、エテンデュ効率、送達効率増強、ビーム再フォーマットタスクは、イメージングまたは非イメージングSBT、つまり軸対称ビーム変換能力を有する光学システムを使用して従来の技術によって達成できる。例えば、一定の断面形状とアスペクト比(それぞれのターゲット収集アパーチャCA(x, y; T)の形状に同一)を備えたイメージングレンズあるいは円形または矩形のテーバインテグレートロッドが、等式(2)の一定エテンデュ解決策に従って、それぞれの発散角の同時減/増で、軸対象ソースS'の有効"放射スポットサイズ"を増/減するために使用できる。このようにして、例えば、適切な寸法で作られている矩形形状の放射制限"出口"アパーチャ(図5のマスク124と126を参照)を使用することによって、それぞれの二次ソースS'の発散角度を、矩形ターゲットTのアクセプト角に最適にマッチさせることができる。ただし、ソースS'とターゲットTの断面形状の一般的な不整合のために、この従来の技術の軸対称ビーム再フォーマット方法は、エテンデュ制限されているエネルギー収集においては望ましくない送達効率損失につながるが多い。

【0126】本発明の別の好適実施態様に従って、(例えば、好適MLEによって作られている)与えられた非対称二次ソースS'と、与えられたターゲットTのために、多くの種類のLEの送達効率をさらに増加させる、つまり、このような軸対称カップリングシステムの能力を超えて高めるために、理想的には、ソースS'の空間、角および/またはスペクトルビームの特性は、ターゲットTにさらに良好にフィットさせるため、(SBT解決策に比較して)エテンデュ効率が強化された方法で、好適タイプのABTで再フォーマットされる。このようなABTは、好ましくは、指定されている非対称ソースS'にマッチしている入力ポートと、指定されているターゲットTにマッチしている出力ポートとマッチし

ている光学システムとして設計される。

【0127】このような好適ABTは、i)イメージングタイプ、またはii)非イメージングタイプのどちらかとなり、1つまたは複数のABTを直列および/または並列配置で備え、オプションでSBTとインターミングル(intermingle)され、それぞれのアナモルフィックビーム変換器システム(ABTS)を形成することができる。本発明に係るすべての好適ABTSは、それらのそれぞれの収集アパーチャCA(x, y) | ABTSが、その出口ポートの出射アパーチャEA(x, y) | ABTSに非線形に関係している、つまり $k > 0$ であり、z軸が局所ビーム伝搬軸(local beam propagation axis)であるCA(x, y) | ABTS  $\neq k \cdot EA(x, y) | ABTS$ であることを共有する。ABTとSBTの入力ポートと出力ポートは、収集アパーチャCA(x, y) | ABTSから収集されるエネルギーをその出射アパーチャEA(x, y) | ABTSの上にマッピングする効率的な遠隔電磁放射移動手段によって結合されている。したがって、これらのABTSは、軸非対称入力ビームの出力発散(output divergence)および/またはビーム断面を少なくとも2つの選択された直交平面で異なるように変更し、それらは非対称ソースS'とターゲットTに関して好適な整合配向性を有する。

【0128】ソースS'によってターゲットTの上に放射されるエネルギーのエテンデュ効率的なカップリングに対して、出射アパーチャEA(x, y) | ABTSの好適断面形状は、好ましくは、ターゲットTの有効収集アパーチャCA(x, y; T)のエテンデュ効率的なアナモルフィック線形形状変更(etendue efficient, anamorphic linear shape change)である。つまり、EA(x, y) | ABTS =  $l(x) \cdot l(y) \cdot CA(x, y; T)$ であり、 $l(i) = |\sin(\theta i^T)| / |\sin(\theta i^e)|$ 、 $i = x$ または $y$ で、 $\theta i^T$ がターゲットTのそれぞれのアクセプト角であり、 $\theta i^e$ が出力ポートのそれぞれの出射発散角である。各面ごとに、関連するx軸とy軸は、局所伝搬軸(local propagation axis)z、および与えられた最長寸法または優先軸xに基づいて求められる。非対称モードで使用されるDMDまたはTMA LVのような非対称アクセプト角関数を備えたターゲットの場合、出射発散角分布は好ましくは、出力ポートのターゲットTへの前述された空間マッチングが、必要な角依存放射と非対称アクセプト関数をもマッチングさせるように、ターゲットのニーズにもマッチングされる。

【0129】入力形状と出力形状の選択は、それぞれの入力ポートと出力ポートの間での遠隔エネルギー送達手段の選択(つまり、その角非対称エネルギー密度関数を対称化しない性能)だけではなく、ターゲットTの使用可能な非対称入力ビームと照明要件に依存する。また、単一入力ポートと出力ポートだけが説明されているが、



必要に応じて、複数の入力ポートおよび/または出力ポートを有する複合ABTSを構築することができ、前記教示内容は実際の状況に応じて修正することができる。

【0130】したがって、本発明の好適MLEによるエテンデュ効率的な放射立体角低減(etendue efficient emission solid angle reduction)を達成した後に、多くのエテンデュ制限されているターゲット照明用途のためのLEの送達効率は、現在、その多くが、エテンデュ効率的にそれぞれ二次的なソースS'によって放出されている非対称ビームを、特定の指定ターゲットTでのより使用可能な照明ビームにさらに再フォーマットするための識別性実践的手段にも依存する。

【0131】最も一般的に使用されている照明ターゲットT(LG、LV、フィルムのコマ、反射スライドまたは伝達性スライド等)は、軸対称角依存エネルギーアクセプト関数を有する。したがって、このようなABTSが、エテンデュ効率的、および十分な伝達性で動作する場合、本発明に従って、ABTSによって、(図9に示されている)非対称角依存エネルギー密度関数をさらに対称的な関数に変換することによって、追加の入力収集領域が、同じ収集領域のために獲得できる。したがって、好適ABTSは、エテンデュ効率的な非対称入力ビーム、つまり最大角発散を有する方向でその最も狭いビームウェスト部を有するビームと組み合わせて、指定されているサイズと形成されている出射アパーチャに対する最長ビームウェスト部の方向で引き伸ばされているさらに大きい収集アパーチャを効果的に提供することによって、それぞれのエテンデュ制限されているLEの送達効率をさらに高めることができる。

【0132】この発明の別の好ましい実施例では、異なる型式のABTを使用する。例えば、図8に示した楕円断面領域ASLを、別の楕円または円形に変換するために、この発明の好ましい実施例では、x軸とy軸の両方を、それぞれの光学システムのz軸に沿ってほぼ等しい像距離で、エミッションソースS'の像を形成するように選択された直交二重円筒型光学機器を使用するが、x軸とy軸の発散及びそれぞれの直交倍率(magnification)は異なり、望むエテンデュ率及びデリバリ率である最良領域/角のビームリフォーマットファンクションを達成するように選択される。さらに、このようなアナモルフィック光学画像システムを適切に設計することによって、システムにPCSを容易に追加でき、約2倍の断面領域とそれぞれのエテンデュとを有した非常に極性化された出力ビームが発生する。いくつかの型式のLE用途では、このことによってこのシステムのデリバリ率が改善できる。このようなPCSは、必要に応じて以降で説明する他の実施例のいくつかにも追加できる。あるいは、軸対称リフレクタ断面(球、放物線、トロイダル、オブロイド、楕円、非球面など)を有した凹面および凸面リフレクタと、軸対称および非対称レンズを有したも

のの組み合わせで、ビームステアリング(beam steering)と高エテンデュ率の領域/角度変換の組み合わせに利用することができる。

【0133】この発明の別の好ましい実施例では、一对のマッチしたレンズアレイまたは位相アレイを用いて、それぞれのシステムの出口アパーチャEA(x、y)ABTSでビーム断面を再形状化し、ビーム強度を空間的(スペース的)に平均化する。各ペアの第一要素はビームを複数のサブビームに分割し、各サブビームに対して、各々高エテンデュ率である角度/領域変換を行い、第二要素は各サブビームを組み合わせ、重ね合わせて、領域、角度(アングル)および空間的な強度を変換した出射ビームを生成する。なお、MLEの好ましい型式の一般的に、さらに長方形の出射ビーム(図8参照)と、その面積(エテンデュ)効率のよい非対称角度依存エネルギー密度関数(図9参照)によって、各ビームを4:3または16:9のアスペクト比の長方形に変換すると、等価的な円を長方形の領域に変換する場合より、一般に面積効率がよくなる(高エテンデュ率となる)。

【0134】この発明に基づく別の好ましいABTは、短チャネル、固体、透過性、軸非対称テーパー型、非結像LGカップリング要素であって、適切な低屈折率クラッド層または光学的に非常に優れた研磨面または清浄面を有する。さらに別の好ましい製造方法では、中空の高反射性軸非対称テーパー型チューブから、このようなABTを作製する。入射断面形状から出射断面形状への変化は、好ましくは適切な遅い速度、または段階的に徐々に変化し、所定の製造コストの制約に対して、所定のLEの伝達効率(デリバリ率)を最大にするように形状選択する。

【0135】図6は、この発明の別の好ましい実施例の断面図を示しており、2つの異なる型式のABTは、まず並列に、次に直列に使用し、これらを使用して、ABTSとして、高伝達効率の領域/角度再変換複合LGを構成し、各々LGLE-G、ABTLE-Gを形成する。なお、この例の場合、所定の出射(出口)ポート(図示せず)の非常に小さな出射アパーチャに対して集束(収集)最適化を行い、最適集束解(optimum collection solution)は、エミッションボリューム(放出体積)EVS'Fの2つのホットスポット(エミッションソースまたは放出源70Fと72Fの所定の像)の近傍に、空間的に隔てられた2つの異なるエネルギー集束位置を必要とする。従って、最適化された所定のエネルギー集束は、2つの異なる入射ポートIP1、IP2を伴って示され、分岐領域再成形(bifurcated area reshaping)LG160によって、単一出射ポートOP(この図には示されていない)に組み合わせられる。第1の型式のABTは主に、所定の軸非対称、角度依存エネルギー密度関数(軸非対象アングル依存エネルギー密度ファンクション(axial asymmetric, angular dependent energy

density function)) を、面積効率(étendue efficient)のよい方法で対称的にする。第2 A B Tは、すでに対称になっている角度依存エネルギー密度関数(ファンクション)を実質的に変更することなく、領域を再成形する。この2段階の方法によって、最適領域再変換手順から最適角度再変換手順を分離でき、適合した連続的な対として、それらは所定の伝達効率をさらに増大させる。図6は、第1の型式のA B Tとして、非対称テーパ型集束器(インテグレータ)を用いているが、同様の機能を実現するために、他の型式の面積効率のよい結像または非結像アナモルフィックビーム変換器を使用することもできる。

【0136】図7は、好ましいA B Tの別の実施例であって、単一の長方形非対称延伸テーパ型集束器(single rectangular, asymmetrically stretched tapered integrator) 162を示しており、集束器162は、ランプ軸に直交する出射角 $\theta_{\text{ve}}$ の減少関数(リダクションファンクション(reduction function))として機能する。つまりy軸において入射側の高さより出射側の高さの方が大きい。このテーパ型集束器162は、湾曲を有する出射面(exit surface)を備えるように示されており、所定のL G L E - Gに対して、それぞれ照射目標(照明ターゲット) T Gを形成する。このように適切に選択した湾曲を有する出射面を使用して、例えば、対称ビーム変換カップリング光学機器(symmetric beam transforming coupling optic)と組み合わせて、単一のカップリングレンズで、準(クアジ)テレセントリック入射ビーム(quasi telecentric incident beam)を形成できる。従って、このように好ましい面(傾き湾曲した出射面および入射面など)を用意することによって、前述のような補助的な光学要素の一体化を可能とし、さらにL Eシステムを最適化でき、ビーム走査(beam steering)、“シャインプラグ(Schein-plug)”光学補正(optical correction)、テレセントリック制御(telecentricity control)、フィールド平坦化(field flattening)、色分離(color separation)、偏光分離/結合(polarization/splitting/combining)などに役立つ。

【0137】非対称延伸テーパ型集束器162は、非常に簡単に低コストなA B T設計の解答(solution)であり、好ましい型式のM L Eと組み合わせると、特別な場合の長方形目標T(L Vなど)に対して、従来のカップリング技術より伝達効率を増大できる。ターゲットあるいは目標Tは、固有の非対称角度依存受光(アクセプト)関数(asymmetric angular dependent acceptance function)(DMD<sup>TM</sup>またはTMA<sup>TM</sup>ライトバルブなど)または固有の対称受光角(L C D、投影スライド、対称照射モードで用いられる他の型式の固有の非対称素子あるいは装置など)を有することもできる。従って、テーパ型集束器162の2つの直交する方向(xとy)における非対称テーパは、所定の水平方向と垂直方向の発散

を伴う準対称(quasi-symmetric)または非対称の目標の照射必要性を近似的に満たすように選択される。

【0138】例えば、垂直方向の傾斜軸を備えたDMDまたはTMAの場合、本来の角度依存非対称エネルギー密度関数(図9参照)は、理想的な照射ビームに近く、L Vに対するカップリング効率を改善し、コントラストを低下させず、図5に示したような非対称マスク124を使用する必要もない。特に、水平中心軸の周りのランプ遮蔽部(lamp blockage section)は、高コントラストP L Eに使用する場合の散乱を最小にするのに役立つ。従って、好ましい型式のM L Eを使用すると、その本来の非対称角度依存性を用いて、対称モードまたはそれ固有の非対称モードで、関連したDMDまたはTMA P L Eを動作する際の伝達効率を向上させることになる。

【0139】いったん領域/角度再変換器(area/angle reformatter)としてテーパ型集束器を使用することに決定すれば、それを用いて、1方向または2つの直交する方向の出射発散 $\theta_{\text{ve}}$ をさらに低減し、後続のカップリング光学機器(follow-on coupling optic)の要求を簡略化することも考えられる(図7参照)。P L E用の場合、このような非対称テーパ型A B Tは、同じ部分と長方形の集束部内で、空間的に平均化する関数(ファンクション)を提供するためにも十分な長さとすることができるので、好ましい解決策であることが多く、このような非対称テーパ型L Gの出射形状は、目標と第2放出源(セカンダリソース) S' 上に、より効率的にマップ(map)するために選択できる。スループット効率と空間的な出射強度の均一性を向上させるために、適合させた複数のテーパ型および非テーパ型集束部を組み合わせて、P L E用伝達効率を最大にすることもできる。

【0140】例えば、4:3のアスペクト比の長方形の出射形状の場合、ランプの軸方向に1.25×1の寸法で延伸を行う(水平方向の24.5°を30°に変換する)と、アスペクト比5:3に対して、25%だけ大きな長方形の入射集束アパーチャとなる。図9に示すように、このような細長い入射アパーチャは、4:3の集束アパーチャより、理想的に示された楕円型の受光面A S Lに対してさらによく適合する。従って、このようなテーパ型集束器162は、十分な理論限界(44%領域利得)まで、面積効率のよいビーム再変換を行えないが、実現可能な伝達効率を得ることと、このような単一部材の伝達効率を改善することによる製造/開発コストの間で、非常に良好な歩み寄りを実現する。

【0141】照射機能と入射ビームに依存して、より複雑な非対称テーパ型、例えば線形および非線形の縦方向の変化を伴った、楕円から長方形、六角形から長方形、八角形から長方形、長方形から八角形を形成する角が傾斜状となった長方形などを用いて、特定のL E設計の場合の伝達効率をさらに改善できる。

【0142】この発明に基づく好ましい方法では、所定

の中空の製造方法に対して、所定の A B T を 2 つまたは 3 つ以上の（おそらく同一の）部分を接着したものであり、例えば、2 つの L 字形の部分を接着して長方形の断面を形成する。このような好ましい固体中空 A B T 部材は、押出し加工と選択的・補助的なスランピング、研削／研磨、および電気鋳造加工によっても形成できる。必要であれば、複数の A B T と S B T を直接カップリングし、所望の伝達効率改善ビーム再変換機能(delivery efficiency-enhancing beam reformatting task)を、グループとして行うこともできる。

【0143】図 10 は、長方形のテーパ型水晶集束ロッドに対する一般的な角度依存エネルギー密度関数の変化を示しており、このロッドは、ランプ軸 24 と平行な方向の A 軸に沿って、係数 1.2 で線形に延伸する。図 9 は、データを生成するために使われる所定の入射分布を示しており、所定の非対称延伸テーパの出射ポートは、6.4 × 5 mm の長方形の放出アパーチャであった。図 10 は、このような単純構造の A B T が、さらにずっと均一な角度依存エネルギー密度関数を生成できることを示しており、所定の 0.5 NA の受光コーン（図 9、10 では円 155 で示される）に対して、非対称な入射ビームより適合したビームを提供できる。また、図 9 は、4 つのコーナにおいて、円 115 の外側のエネルギーに漏れがあり、集束効率をやや低減することも示している。より複雑な集束器形状や他の型式の A B T を使用することにより、このようなスルーアウト効率を下げる漏れ損失をやや低減し、タイオウする伝達効率をさらに改善することもできる。

【0144】従って、ビーム発散(beam divergence)  $\theta_h$  を光源の軸(source axis)方向で増加させ、光源の軸方向と直交する発散  $\theta_v$  に適合させると、対応するテーパ型 L G の入射ポートの全集束領域も同様に増大する。

【0145】従って、好ましい M L E の出射ビームの軸非対称角度依存エネルギー密度関数を利用することによって、第 2 放出源 S' レベルで、所定の集束面積(collection etendue)  $E_c$  に対する有効集束領域  $A_c$  を主に特に増大させ、さらに面積限界(etendue-limited)で集束する場合において伝達効率が増大する。

【0146】さらに、ガス放電ランプのほとんどの分子放出が、所定の原子放出より大きな領域で放出されるので、それに比例してより広帯域の光が、1) 好ましい M L E の擬似(クアジ)画像およびほぼ 100% の集束効率と、2) 面積効率のよい角度エネルギー対称 A B T によって、好ましい M L E で(M L E - A 型と M L E - B 型以上に)集められる。これらの効果は両方とも、カラー画像生成 P L E の伝達効率の点でも役に立つ。

【0147】さらなる伝達効率の向上は、別の面積効率のよい色再変換の可能性から生じることがあり、この可能性は好ましい M L E 設計の固有のものである。全放出エネルギーの約 30 ~ 50% を放出領域に反射すること

により、この光は、所定の放出領域内に配置された電磁エネルギー放出材料と再度相互作用できる。従って、この発明の別の好ましい実施例は、効率的な色再変換の目的でも好ましい型式の M L E を使用する。前述のように、所定の M L E - F、M L E - G などは、ほぼ 4  $\pi$  ステラジアンで所定の放出領域から放出された光を、実質的に面積を維持する方法で集め、角度を再変換できるので、このような C C S は、非誘導(non-stimulated)（非レーザ型）光-物質相互作用で一般に発生するビーム方向変換効果(beam redirection effects)を処理できる。特に、この発明の好ましい実施例のいくつかでは、放出エネルギーの約 30 ~ 50% が放出領域から再度送られる。特に、ガス放電アークランプの場合、サイズを大きくすることなく、放出領域の光路長(optical path length)を効果的に約 2 倍にする。このように増大された光路長を使って、狭帯域原子線(narrow band atomic line)（例えば H g）から広帯域分子線(broad band molecular line)（X e スペクトルにより近い）まで変換効率を増大できる。また、前述の内容から、光路長を効率的に 2 倍にすることによって、このような最適な色再変換効果(color reformatting effect)を介して、最適な伝達効率を達成するために、異なるガス充填混合物(gas filling mixture)を選択できることは明らかである。

【0148】例えば、フィラメント上に焦点を戻す（フィラメントに隣接させない）R R S 140 を備えたタングステン・フィラメントランプの場合、非放出（フィラメント構造に吸収される）、逆反射(retro-reflected)および吸収される U V、可視、I R エネルギーを使って、さらにタングステン電極を加熱できる。従って、間接的な効果によって、いくらかの使用不可能な光（U V や I R）、いくらかの損失（吸収される）可視光が可視光に変換される。タングステン面の温度をさらに高温にすることによって、ランプの出射スペクトルが変化し、色温度が高まり、青のスペクトル強度が増大し、電氣的により効率的に動作する。つまり、同じ電氣的エネルギーの入力に対して、出射される全光量が増大する。タングステンランプは一般に青色が弱いので、P L E や他の型式の色依存用途の場合、伝達効率と色効率を改善できる。

【0149】同様に、ガス放電アークランプ（A C 型または D C 型あるいは無電極のマイクロ波駆動の壁安定化ランプ(wall stabilized lamp)など）内の高温励起ガスは、再放出光をやや再吸収でき（特に光学的に密度の高い波長帯域で）、i) 同じ波長ではあるが異なる方向に直接的に（弾性散乱(elastic scattering)）、または異なる（多くはより長い）波長（蛍光変換、マルチフォトン・ポンピングなど）で放出し、i i) より高いガス温度で、様々な成分の密度を増大させることにより間接的に放出して、広帯域の放出変換効率などを向上させる。

図 11 は、好ましい M L E - F と同じ F / # の従来の M

LE-Bについて、このような観測可能なスペクトル再変換の挙動の代表的な場合を示している。両方のスペクトルは、3mmのアーキギャップ、AC型のメタルハライドランプで、同じ電力消費量になるように、各々冷却して、電極間の電圧降下が同じになるように調整している。太線（細線）は、MLE-F（MLE-B）型システムで観測された放出スペクトルを示している。MLEの出射ビームは、同じ長さ、出射領域、出射形状の長方形の6.4×5×25水晶集束ロッド(quartz integrator rod)で集めた。MLE-Bの場合は断面面積が一定の（非延伸）集束ロッド、MLE-Fの場合は線形アナモルフィック・テーパ型集束ロッドであって、入射側でランプ軸24の方向に1.2×1の寸法で延伸したもので

$$CE = CE(E_c) = P_c(E_c) / P_c \quad (6)$$

Psは放出源Sの全出射強度、 $P_c = P_c(E_c)$ は所定の集束面積Ecに対する集束可能な最大強度を表している。全ての計算について、主反射体(primary reflector)や逆反射体(retro-reflector)の反射率は各々100%であると仮定した。ランプ容器42は反射防止膜で覆われていると仮定されており、エンベロープあるいは容器42のフレネル反射損失(Fresnel reflection loss)は外面では0%になっているが、内面では変化していない。容器(envelope)42の光学的な方向変換機能(optical redirection ability)は、この数値モデル(numerical model)に含まれている。全ての電極48とランプポスト44、46は、100%光を吸収すると仮定した。異なるMLE設計の実現可能な集束効率の最大値を決定するために、つまり、MLE出射段階のレベルでのこの発明の上限の能力を決定するために、理想的な(EE=1)性能のABTまたはSBTが存在すると仮定し、所定の出射ビームを空間的(spatially)に、角度的(angularly)に再変換し、集束面積Ecを備えた目標(target)Tを最大面積効率で照射(illuminate)するために必要とされる形態にできるとした。なお、図12に示したデータは、厳密な単色光の計算を表しており、放出領域の内部の光-物質相互作用による放出源Sの放出領域での色変換効果、逆反射ビームや再放出ビームの吸収は考慮しておらず、所定の電極端部やランプポストでの機械的な遮蔽効果は除いている。従って、この計算は所定のMLEの性能と所定のLEの性能から、所定のランプの集束能力を分離できる。

【0151】図12の曲線“S”は、選択した体積SB自体の固有の単色放出/集束効率を示している。つまり、完全な面積効率を有する方法で動作する理想的な性能のCCSに対する実現可能な最大集束効率CEを表している。

【0152】異なる集束色(collection color)に対して最大集束効率(collection efficiency)を得るために、所定の色依存放出領域(color dependent emission region)をモデル化する必要がある。当業者は、適切な光学

ある。なお、図11において、広帯域分子光放出の増大、特に他の赤が弱いメタルハライドランプの出射ビームに対する赤の出射ビームの100%以上の増大、所定のHg原子線(atomic Hg-line)のピーク値の減衰がある。この効率的なスペクトル再変換効果の有用な要素によって、好ましいMLE設計は、放出源Sを避けて、ほぼ100%という非常に高い割合の集束を可能とし、面積効率(etendue efficient)、スループット効率、および色再変換効率のよい方法で集束できる。

【0150】図12に示した曲線では、異なるMLE設計に対する理論的な集束効率CEの最大値が比較できる。つまり、

的(線形または非線形)伝達関数(optical transfer function)を使って、前述の色再変換利得(color reformatting gain)を含むように、前述のモデルを拡張でき、その関数(function)は、所定のランプの動作特性、入射スペクトル、入射強度などに依存し、研究中のランプのモデル化により、必要に応じて洗練(sophisticate)でき、これらは全てこの発明の概念に含まれる。

【0153】曲線“S”の形状は、放出源Sの単色光の最大集束特性を表しており、その特性は面積限界(etendue limited)のLEの設計に関連している。放出源Sからのエネルギー放出が空間的により集中し、直交する方向の放出角φがより狭くなるほど、関連する特性曲線“S”の立ち上がりは急峻になり、その傾斜は飽和領域で平坦になる。こうした理由で、点状の放出源Sは、所定の目標Tへカップリングするための面積損失(etendue loss)に余裕があり、小さな目標へ光をカップリングするのに一般に適している。曲線“S”によって明らかになる別の点は、全放出強度の一部だけが一般に、所定の集束面積Ecのエネルギー収束(energy collection)で利用可能であることである。また、図12は、垂直(水平)方向の破線が、 $E_c = 7 \text{ mm}^2$  ステラジアン(CE=42%)という所定の集束面積値を示しており、水平(垂直)方向の射影(矢印表示)が、所定の曲線に対する所定の集束面積値CEを示している。

【0154】例えば、“図2”のラベルの曲線は、図2に示した従来のLGLLE-Bについて得られた結果を示している。曲線“図2”を曲線“S”で割る(divide)と、スループット効率曲線、つまりMLE-Bの $TE = TE(E_c)$ が、所定のシステム・パラメータに対して計算できる。同様に、面積効率曲線、つまり所定のMLEの $EE = EE(P_c)$ が、異なる集束強度レベル $P_c$ に対して垂直方向の射影の比(ratio of vertical projection)から計算できる。

【0155】“図6-1X”のラベルの曲線は、この発明の好ましい実施例の改善された性能、つまり図6に示したMLE-Fを示しており、図8、9に示したデータ

を導く同様のシステム・パラメータに対するものである。“図6-0.7X”のラベルの曲線は、前述の放出源の遮蔽効果によって、同じサイズの放出源S<sub>1</sub>が照射したMLE-Fが縮小(0.7X)した場合の集束効率の減少を示している。

【0156】反射体(reflector system)140、142は、同様の反射膜でも異なる反射膜でもよい。誘電体多層膜を使って、波長選択反射を行うことが多い。一般的な例として、赤外光とUV光のほとんどを透過し、スペクトルの可視部を反射する冷反射膜(cold reflector)がある。反射体140、142の基板材料は、同様の材料であっても異なる材料であってもよい。反射体基板は各々、ガラス、石英、セラミック、金属などであり、均一な材料でも不均一な材料でもよい(例えば、薄い反射膜のハニカム支持構造からなる大きな反射構造)。透過されるエネルギーのいくらかは、好ましくは反射基板を透過したり、反射基板に吸収されたり、その外面に熱伝導されたりする。空気や液体の(連続的な)流れを用いて、反射面の外面(場合によっては内面)から熱を取り除き、反射体の特に反射膜や、反射体ハウジング内の放出源Sが過熱しないようにする。

【0157】いくつかの型式のABTLEの場合、入射エネルギーの一部は、所定のABTSによって逆反射される。この現象は、フレネル反射または所定のABTSの内部の全反射効果を介して、あるいは波長選択反射体等の外部逆反射手段を介して発生する。好ましいMLEの第2放出源(secondary source)S'部近傍に所定の入射ポートを備えたABTSによって反射された光線は、放出源Sに戻る他の逆反射光線と同様に振る舞う。従って、このような光線は、前述のように放出源の放出領域と相互作用することにより、異なる空間、角度、スペクトルの入射条件によって、ABTSが反射しない光強度をいくぶん増加(increment)させる。従って、この発明の別の好ましい実施例は、前述の方法であって、部分的逆反射(partial retro-reflective)ABTSまたはABTLEを使用することにより、このような好ましいABTLEの有効スループット効率(effective throughput efficiency)と色再変換効率(color-reformatting efficiency)を向上させる方法である。

【0158】所定の補助逆反射体152(例えば、平面または、必要に応じて図7に示したような適切な曲面を備えた反射マスク)と、最小サイズの出口(外出)または外部ポート(exit port)154と、エネルギー集束および遠隔伝達の適切なLG手段を選択することによって、他の損失エネルギーの(LG入射ポートの有効集束アパーチャから漏れた)一部を、放出源Sの放出領域に方向変換でき、直接的または間接的に光に変換して、所定のLG入射ポートが部分的に集束可能で、所定のLGLEの全伝達効率を最大にするのに役立つ。

【0159】図13は、基本的なLGLE-FとLGL

E-G設計の改良型であるLGLE-H(およびABTLE-H)の設計に適用したこの発明の別の好ましい実施例の平面図を示している。この設計変更では、“折り返した(folded)”RRS140を用いて、MLE設計状況での反射体140の幅や高さを低減している。この設計状況では、集束角 $\theta_v$ はより小さくし(例えば20°)、同じ高さ限界に対して、2ミラーの最小遮蔽損失解(2 mirror minimum blockage loss solution)より伝達効率を大きくする必要はある。図7と同様に、主逆反射体(primary retro-reflector)148と少なくとも一つの補助反射体(反射体152として示したもの)を、ここでは使用したが、主逆反射体148の出射ポート146はより大きく、それに比例して、補助反射体152は出射エネルギーのより大きな部分を集める。このシステムは、前方の所定のMES144に非常に接近させた第2出射ポート154を有するように示した。同様に、PRS140は必要に応じて折返し、切取りが可能(truncated)で、より小型のCCS-Hが得られる。

【0160】MES144で集めた(concentrated)エネルギーの非対称ビーム再変換は、前述のように一つまたは複数の所定のABTで行われる。例えば、図13は、一定の断面形状のLG186に、ABT184をカップリングした場合を示しており、LG186は、特別な出射ポート構成として偏った出射面(biased exit surface)を有し、ビームのz軸に対して傾けられており(=補助プリズム)、さらにビーム走査機能(beam steering function)を提供できる。ここに示したABTの型式は、中空または固体ABT184であり、LG186の入射ポートにカップリングした別の部分、または所定の入射ポートの特別な入射面処理部である。例えば、図13は、高効率2段階ABT集束器186の第1段階の例を示しており、集束器186は、好ましい断面形状として垂直面に、テーパ型入射断面184を有し、垂直方向の発散角 $\theta_v \sim \theta_{ev}$ を低減するために使用され、単一の反射相互作用のみを用いて、限られた光線のサブセットの方向を変える特別な型式のABTである。2方向に発散を変えるために、2軸反射テーパ型断面(bi-axial reflective tapered section)を使用することもできる。このような型式のABTと入射ビームの間の相互作用は最小限のものであるため、これらの第1ABT段階は一般に、ビームを空間的には均一化(homogenize)できず、ビーム均一化器(beam homogenizer)としてSBTを使用する必要がある。例えば、図13は、一定の断面形状の長方形集束ロッド、つまりLG186を、2段階集束器の第2段階として使用する場合を示している。

【0161】また、LG186は、単に既存の一定の断面形状の光ファイバLGであってもよく、光ファイバLGを用いて、前述のようなエネルギー集束と遠隔伝達を行い、所定のLGLE-Hを構成する。

【0162】図14は、この発明の別の実施例の側面図

を示しており、非常に小型の面積効率のよい単一出射ポート密閉型反射ランプS<sub>1</sub>であって、MLE-G設計に関連している。図14に示した好ましい実施例は、放出源の例として、陰極20と陽極22によって励起される垂直方向のDC型プラズマアークを用いている。図示してはいないが、前述の内容および以降の内容には、他の向き、および同様の放出源、例えばAC型プラズマアーク、連続動作、パルス動作、またはACモードのタングステンまたはタングステン・ハロゲン・フィラメントランプなどを適用することもできる。

【0163】図14において、反射体142、140は密閉型反射キャビティ200を構成し、電磁エネルギー放出材料（例えば、Xe、Hg、Hg<sub>2</sub>、Kr、Ar、金属ハライド塩）と蒸発したタングステンを電極に再蒸着させるハロゲンを含む分子を封入する。逆反射体148は、シール202で密閉された出射ポート146を有し、光は透明な出射窓199を通過する。出射窓199は、所定の波長帯域を選択的に透過または反射する誘電体多層膜を必要に応じて形成することもできる。キャビティは、適切な製造技術を用いて、ガラス、石英、つや出し保護膜付きセラミックから構成し、許容可能な表面処理を有する最終的に所望の凹面型にすることができ、誘電体膜または金属膜を形成することにより、反射体の反射性を制御でき、これらの膜面上に、必要に応じて他の透明なシール層を形成し、ガスに曝されないようにすることもできる。また、反射膜は、必要に応じて適切な反射面の曲率を補正した透明な面（ガラスや石英など）の外側に設けることもできる。

【0164】反射キャビティは、一つまたは複数の部材から構成することもできる。例えば、この発明の一つの好ましい実施例において、石英またはガラスの適切な精度のブロー形状を用いて、単一部材のキャビティを構成し、シール202と出射窓199を省略することもできる。主逆反射体148の一部とは異なる膜により、出射窓199を形成し、図7に示したように出射ポート146から光を通過させることができる。

【0165】なお、この場合、フィリップス社によって製造された従来の投写用ランプと同様のものであり、実質的に長方形の断面形状を有する非常にしっかりと巻き付けた平坦なタングステン螺旋を使用し、その螺旋は、ブローガラスから作られた単一部材の反射キャビティ内の軸上の位置に、垂直方向の放出源の軸方向に配置され、その逆反射部は、集束させたエネルギーをタングステン螺旋状長方形上に像を作る。従って、反射されたエネルギーは、主にタングステン部材を過熱するのに使われる。再結像したエネルギーのごくわずかの量が、単一部材の反射キャビティの主反射部上で反射し、出射ポート146を通過する。

【0166】この従来の単一キャビティMLEを越えるこの発明のより好ましく改善された実施例は、単一部材

の反射キャビティ200の反射軸28に対して、軸外の位置(off-axis position)にタングステン螺旋を配置し、さらに前述のようなABTを使って、効率的なエネルギー集束と伝達を行う新奇なLGLLEを構成する。不透明タングステン螺旋用のこのMLE設計変更の利点は、図16と関連させながら下記にさらに詳しく説明する。

【0167】この発明の別の好ましい実施例は、2つ以上の成型ガラスまたは石英反射部材を使用し、熔融、ソルダ、ブレース、その他の適切な方法でシールされキャビティ200を形成する。この発明の別の好ましい実施例は、ほぼ完全にアルミナからなる成形セラミック反射部材を使用する。さらに、その部材の反射部の内面に金属または誘電体膜の薄いつや出し膜を形成し、所望の表面品質と反射特性を実現する。誘電体膜の場合、放出される光はビーム内に逆反射されず、つや出しおよびセラミック本体に吸収され、熱として反射面から逃げる。好ましい窓材199は、平面な窓または図7に示したような凹一凸レンズの形状の、サファイア、石英、または強化ガラスである。窓材の好ましい選択は、密閉型反射ランプS<sub>1</sub>の動作要件（圧力、ガスの化学的適合性、動作温度、ブレース材料など）で決まる。

【0168】さらに図14を参照すると、図7、13で示したMLE-GとMLE-Hについて説明したように、反射体140、142は必要に応じて折り返して空間を節約できる。

【0169】図14に示したPRS142は、波状の外表面を必要に応じて備え、反射体140は、滑らかな表面を必要に応じて備え、準一定(quasi-constant)の壁厚を有している。もちろん両方の概念を混合し、所定の部材に適切に適用することができる。準一定の壁厚は、成形、打ち抜き、その他、例えばガラスやセラミックなどの軟化させた材料の塑性変形に基づく製造工程で要求されることが多い。選択的な波状外表面の目的は、その表面積を増やし、反射体の冷却効率と熱伝導を改善し、前述の非反射エネルギーの熱的な除去を促進することである。さらに、波状表面を有するまたは有しない金属、セラミック、ガラス面を、（滑らかな）反射キャビティの外表面に熱的に接触させて、熱的な除去を促進することもできる。このような放熱補助(heat sinking aid)は、もちろん他の型式のMLE、つまり非密閉型などにも同様に適用でき、特にランプポスト44、46の端部に取り付けて、内部容器の内側から熱を取り除くために使われるモリブデンボイル・シールの温度を低減し、電気エネルギーを電極端部に送ることができる。

【0170】図14に示した電気リード線205は、電極20、22と熱的に接続した選択的放熱部（ヒートシンク）206、208に接続する。後者は、反射源S<sub>1</sub>、つまりMLE-Iの冷却、電氣的接続、取付けに役立つ。また、放熱部206、208は、表面冷却を増大

させる選択的な波状外面を有するように示した。さらに、放熱部 206 は、選択的な取付け穴 210 を有するように示した。

【0171】なお、図 14 は、前述のようなエネルギー伝搬を歪めたり、遮蔽したりする容器（エンベロープ）42 が存在しない特別な設計の場合を示している。従って、この発明の主反射体 142 の好ましい形状は、放出版積（エミッションボリューム）EVSJ が実質的に最大である第 1 焦点と、MES144 の頂点でもある軸位置 LE 近傍の第 2 焦点を備えた実質的な楕円である。好ましい RRS140 は、DC 型プラズマ源の場合は実質的には円形であり、AC 型プラズマ源の場合は（LGLEF の説明参照）、実質的には楕円型である。しかし、放出版積 ESSJ が、例えばタングステン螺旋のようにかなり拡大されると、好ましい形状は、もはや軸対称ではなくなる。このことは、図 16 と関連付けながらさらに以降で説明する。出射窓 199 の光学的な特性に依存して、楕円 RRS142 を、必要に応じてやや非球面化して、前述の出射窓 199 の光学的焦点偏差(optical defocusing effect)の影響をあらかじめ補正(pre-compensation)できる。なお、出射窓 199 は、(PRS142 と適合させる方法で)CCS-I のビーム集束能力を共に向上させるためと、いくつかの製造上の制約に適合させるために、曲面を備えてレンズ機能を提供することもできる。

【0172】LG212 の入射ポート IP は、好ましくは前述のように構成される。なお、DC 型プラズマ源の場合、アークギャップ侵食(erosion)は非対称となる。従って、ランプの寿命以上に、LG212 の出射減少を低減するために、前述のように、LG212 の光軸 162 は、(図 14 に誇張して示したように)その理想的なカップリング位置からやや垂直方向に（システム軸 28 と平行に）補正する必要がある。

【0173】LG212 自体の入射ポート IP は必要に応じて、所定の密閉型出射窓 199 を構成でき、反射体 140 の頂点(vertex)近傍で光を集め、気密シール 202 を介して、キャビティ 200 の外に導く。ここで、出力ポート OP はそのまま使用することも、さらに LG または ABT にカップリングすることもできる。必要に応じてさらに、LG212 を ABT に適合させることがで

【0174】好ましい MLE-I 型の主な利点は、説明したかなりの遮蔽損失の低減により、選択したスループット効率 TE と所定の放出版積（エミッションボリューム）に対して、反射キャビティ 200 のサイズが低減されることである。

【0175】図 15 は、LGLE-J 用のこの発明の別の好ましい実施例の水平断面図を概略的に示している。この図は、2 つの異なる好ましい実施例を強調しており、それらは同時に、個々に、あるいはこの発明の他の

実施例と組み合わせて使用できる。第一の実施例は、2 軸以上の変形版に関するもので、図 15 には LGLE-T の 2 軸変形版が示されており、放出版積 EVSJ からなる小型反射ランプ SJ と密閉型反射キャビティ 220 を表し、キャビティ 220 は、各システム軸 281、282 に対して、2 つの出射ポート 1461、1462 を有する。このキャビティ 220 は、光軸 24（図面の法線方向）の周りの回転方向に 90° 間隙を介して配置した、2 つの実質的に楕円形の主反射体 1421、1422 と、実質的に球形、楕円形、または軸対称非球面の RRS140（上記参照）から構成される。各主反射体 142i は、垂直方向の角度  $\phi_v$ （2 つのポートシステムに対して約 90°）に集束する。逆反射体 140 は、実質的に半球（ $<180^\circ$ ）の部分に放出された全ての光を、放出版積に集めて反射し（ $M_o = -1$ ）、1 半球のみに放出する有効放出版積 EVSJ を形成する。利用可能な製造技術に依存して、2 つの主反射体 1421、1422 を単一部材として構成し、単一または複数の部材の逆反射体 140 でシールして、出射窓 222、224 を備えた気密キャビティ 220 を構成することもできる。

【0176】2 つの出射ポート 1461、1462 は、2 つの異なる好ましい型式の出射窓 222、224 でシールするように示した。出射窓 222 は、ここでは平坦な光学素子として示されており、出射ビームのスペクトルをフィルタ処理する誘電体膜を内面に備え、気密シールで RRS140 に固定する。出射窓 224 は、曲面を有する逆反射体 140 の平坦な平行部分として選択的に示されており、反射体の他の部分とは異なる膜を形成し、所定の波長帯域で光学的に透明な基板を有する。他の型式の窓を、必要に応じて選択してもよい。

【0177】誘電体多層膜（窓 222、224 の内面に破線で示した）を追加し、漏れエネルギーのスペクトルをフィルタ処理してもよい。出射エネルギーの色フィルタ処理は、反射体 1421、1422、140 の反射膜と、出射窓 222、224 の表面で共有できる。例えば、全ての曲面反射部材 1421、1422、140 に、標準的、低コスト、量産型膜技術を用いて、高反射性、耐久性、広帯域金属膜を形成できる。この場合、反射面の入射角の局所的変化の原因となる膜不均一性を最小にするために、特別な膜製造条件が必要になるわけではないので、非常に少ない部材からこのような複合反射体ランプを組み立てることができる。

【0178】励起されたガスが長時間経つと膜材料と化学的に反応する場合や、膜形成を簡略化する場合、波長フィルタ処理用誘電体膜を外面（図 15 に示した面の反対側）に形成してもよい。出射窓 222、224 に反射防止膜を形成することによって、これらの反射体ランプ SJ の全エネルギー伝達効率 DE を、窓材料（ガラス、石英、サファイアなど）の屈折率に応じて、4~1

5%向上させることもできる。

【0179】図14は、少なくとも1軸28を備えた、このような好ましい小型反射体ランプの垂直断面図を示している。1軸系と2軸系、出射ポートが1つの場合と2つの場合、MLE-IとMLE-Jを比較すると、両方とも同じ最大垂直集束角 $\theta_v$  ( $\leq 45^\circ$ ) となるように設計する場合は、キャビティ220によって占有される体積は、キャビティ200によって占有される体積の約1/8であることがわかる。また、2軸系の場合、所定の主反射体は、その頂点からかなり下の面、つまりD  $\approx F1i / 3$ まで伸びている。ここで、F1iは、所定の主反射体の交差点と、楕円の焦点、つまり放出領域の中心位置への所定の光学軸28iの間の距離である。

【0180】マルチポートMLEは単一ポートMLEよりややスルー putt 効率が低い(電極の陰の増大によって)、実現可能なかなり体積を減少することによって、直径、体積、材料コストが、マルチポート・エネルギー集束より大きな問題となる特定用途に対して、マルチポートMLE-Jは魅力的なものとなる。

【0181】原理的には、この発明に基づく2ポートまたはマルチポートMLEは、容器42(例えば放出源SB用)を有する放出源を用いて構成することもできる。しかし、容器とランプポストのサイズによって、マルチポートMLEのバルブとランプポストの陰の増大の影響(increased bulb and lamppost shadowing effect)を低減して、MLE-Fで同様のスルー putt 効率を得るための要件より、大きなマルチポート反射キャビティ220が必要となる。従って、マルチポートMLEは、非常に小さなバルブとランプポスト直径(LPRF1に対して)を有する放出源の場合にだけ実用的であることが多い。

【0182】図15に示したこの発明の第2の実施例は、異なる色の光ビームの効率的な同時伝達に関係している。この図に示すように、MLE-Jの出射ビームは、まず色分離器230で異なる色の出射ビーム(図では3本)にスペクトル的に分離される。次に、これらの色分離された出射ビームは各々、様々なLG231iの適切な形状の入射ポートIPiに集められる。次に、同じ色の光を送るLGを、赤(R)、緑(G)、青(B)のチャンネルで図15に示した単一の各出射ポートOPiに組み合わせる。必要に応じて、色分離器230は、(光学的カップリング材料または屈折率適合液体232の薄い層を介して)出射窓222、224にカップリング(bounded)することもできる。色分離器230、所定の反射キャビティ、所定の電極(反射キャビティに気密性を持ってシールする)、放出体積EVsを合わせて、所定のMLE-Jが構成される。好ましくはLGは高効率型であり、その入射ポート(図15には図示せず)は、全システムに対して、面積効率のよい角度依存、エネルギー密度関数対称化用(etendue efficient angular

dependent, energy density function symmetrization)の補助ABTを含んでおり、所定のABTLE-Jを構成する。

【0183】図15は、空間の有効利用に優れた好ましい色分離素子として“カラーキューブ”を示している。多くの他の型式の色分離器も知られており、それらを、この説明の内容と関連させて使用することもできる。図15では、出射された3本の各色ビーム(R、G、B)が、6本または12本の入射ポートIPiに集められ、各出射ポートOPiをLG出射部176iに組み合わせる。入射ポートIPiの表面は、色分離器230に(例えば屈折率適合液体(index matching fluid)またはゲルを使って)、光学的にカップリングし、ガラス-空気界面でのフレネル損失を最少にする。必要に応じて、色分離器230、入射ポートIPiを空隙によって分離し、各面に必要に応じて反射防止膜を形成し、これらのインターフェースでのフレネル損失を低減することもできる。

【0184】図16は、ABTLE-KとLGLE-Kを概略的に示している(部分的な垂直断面図と部分的な斜視図)。また、この発明の複数の異なる好ましい実施例を、1つの図に示した。第1の実施例は、円筒タングステンまたはタングステン・ハロゲン放出源S用の面積効率のよいMLE-K設計に着目している。第2の実施例は、LGLE-K、ABTLE-kとして、適合させたカップリング光学機器(matching coupling optic)252を備えたABT250と集束部LG254を示している。主に円筒形の半透明および不透明螺旋面エミッタについて下記に説明するが、この発明の内容は、他の放出源形状に対しても同様に採用可能である。特に、長アーク、AC型プラズマ放出源の形状であって、2つの空間的に非常に離れて独立した放出最大部を有し、低輝度の直線または湾曲した円筒型領域でカップリングするものや、小型の直線状のアークまたは蛍光灯のような細長い円筒放出柱に対して適用できる。

【0185】図16に示した放出源Sは、放出源の軸24と、主放出面ESSを密閉した透明な内側容器(inner envelope)42を有し、主放出面ESSは、真空中または適切な励起可能(energizable)ガス中にある。このようなガスは、例えば、電極侵食速度(ハロゲン・タングステン・サイクル)を低減したり、励起、スペクトル移動、光放出媒体(金属ハライドアーク源または高圧Hg源のような体積型放出源)として機能するために選択できる。

【0186】図16に示したMLE-K設計は、図6、7に示したMLE-F、MLE-Gと同様のものである。それは、放出源S、主反射体260、単一出射ポート264を有する逆反射体262から構成され、エネルギーは反射キャビティ266から、出射ポート264を介してMES144に到達し(湾曲したバンドとして



半斜視図(semi-perspective way)で示した)、MES 144は、軸位置LEでシステム軸28と交差する。必要に応じて、出射ポート264(斜視図で示した)は、細長い断面を有し、逆反射体262の反射面の面積を最大にする。この出射ポートは、この発明の他の実施例に対する前述の説明のように、部分的な窓(誘電体膜の有無にかかわらず)で保護できる。

【0187】図16は、放出面ESsの例として、タングステン線からなる細長い直線状の螺旋256を示している。所定の波長帯域を選択的に反射、透過する(IR反射や可視域の反射防止)誘電体多層膜を、必要に応じて、容器42の外表面や内面に形成することもできる。

【0188】取付け電極270、272は、放出源Sを励起し、反射キャビティ266に対する空間的な位置を固定するために使用する導電性固定部(electric conductive holder)として示した。選択可能なランプ固定システムは、反射体260、262を同時に固定するブロック274、276として概念的に示した。これらのブロック274、276は、電気リード線205から電極270、272へ、電気エネルギーを伝える。さらに、放出源Sの空間的位置を固定でき、現場交換(field replacement)も容易なる。例えば、電極272は、固定ブロック276に対する位置を決める円錐プラグ278を有するように示した。同様に、電極270の円錐端部は、固定ブロック274内の円錐凹部に適合するように示した。図16に示したMLE-Kは、反射キャビティ266を破壊、分離することなく、放出源Sの交換を容易に行える。前述の説明に限られることなく、反射キャビティ266は、別の好ましいMLEの精神の範囲内で設計可能であり、一つまたは二つの光軸を備えた気密シール型を含み、容器42や、光が所定のMLEへ通過するように適切にシールされた窓はなくてもよい。

【0189】非拡大、画像反転、逆反射体262は、もし容器42の光学的歪みを補正することによって関数(ファンクション)を最適化し、軸対称(光軸24に対して)非球面反射体(準楕円または準トロイダル)を使って、軸外収差(off-axis aberration)を最小にすれば、元の螺旋を上下、左右に反転させた画像として、図16に示した放出面ESsの実質的な鏡像を生成する。この放出源の像(source image)は、表面放出螺旋256と共に、有効放出面/体積ESVSKを形成する体積型放出源を形成し、主反射体260を照射する。螺旋軸(システム軸28に直交する方向のフィラメントの最長寸法)に沿った放射の自己遮蔽によって、このような拡張型フィラメントランプの角度依存放出関数は、“8”の字状となる。

【0190】なお、螺旋256が不透明であるため、逆反射体262によって再結像されるエネルギーのいくらかは、螺旋256によって遮蔽される。この結果、MLE-Kの全エネルギー伝達にはいくらかの損失がある

が、前述のように使用可能な出射光は増大する。

【0191】従って、逆反射体266の最適化と、放出源Sの軸上の位置は、表面型放出源として使用される螺旋256の空間的な充填量(spatial fill ration)と、照射目標の集束面積(collection etendue of illumination target)で決まる。光遮蔽が高い場合、この発明の好ましい実施例は、集束面積を決定せず、システム軸28を含む垂直面から、オフセット距離 $D \approx W/2$ (容器42の影響は無視)で、タングステン螺旋を横方向にオフセットする。ここで、容器42に、オフセットと、前記システム軸28に対する放出源の鏡像を許容できる十分な幅があれば、Wは、円筒の直径または螺旋の幅となる。この結果、逆反射体の像は、同じシステム軸28からオフセット距離 $D \approx W/2$ だけオフセットされる。最終的に、有効放出面積/体積ESVSJは、螺旋256の元の断面積の約2倍の大きさになる。従って、放出源面積EsとMLEの出力が、約2の係数で効果的に増加する。面積限界のLE用途ではなく、中間目標(intermediate target)の $Er^{max}$ が放出源面積(source etendue)よりかなり大きい、つまり $Er^{max} \gg Es$ である場合や(スライド映写機、オーバーヘッド・プロジェクタ用LE、大型LCD用PLE、光ファイバ型自動車灯、全内部反射大型光パイプ照射システム、大面積光ファイバ照射システムなど)、全伝達効率が高効率より重要な場合は、このことはいっそう許容可能になる。MLE-Jの場合のように、密閉型反射キャビティを使用する場合、断面形状と範囲、システム軸28に対する放出螺旋のオフセットは、この発明の概念を用いて理想的に設計され、所定の集束面積や集束領域に対して、MLEのスループットを最大にする。同様に、逆反射像を距離 $D \approx W/2$ で理想的にオフセットする必要がある場合は、各ソース軸も、内面、また必要に応じて外部容器、例えば、タングステン・フィラメントランプ、二重容器(double envelope)の大出力メタルハライドランプの軸対称な軸に対してオフセットされる。

【0192】図16は、非常に細長く伸びた放出源SK用のこの発明の好ましい実施例を示している。例えば、特別な場合として、十分に長い螺旋状の巻線を備えた螺旋エミッタについて下記に説明する。このエミッタは軸上、つまり $D \approx 0$ に配置できる。この発明のLEは、効率的なエネルギー集束のために平坦な像面上には送られないので、所定のCCS-Kは、前述のように、そして下記により詳しく説明するように、最大スループット効率と面積効率について最適化される。z軸で湾曲した、つまり実質的に湾曲した所定のMES144に従うエネルギー集束面を許容することによって、より優れたスループット効率が達成される。このことは、図16において、放出面/体積ESVSKの湾曲した擬似画像(quasi-image)を表す第2放出体積EVS'Kで示した。なお、元の螺旋256には2つの異なる螺旋画像とその反射面

像がある。

【0193】第2放出体積EVS'Kを垂直方向の面で二等分すると、最適なz位置で、弓形の強度分布が得られる。しかし、図16に示したように、集束面が湾曲していると、拡大された擬似画像が、放出源EVS'Kから得られ、つまり螺旋断面の巻線を備えた湾曲した長方形が、より小さな集束領域を占有して観察される。この発明の別の好ましい実施例については、前述のように、この軸上、軸外結像MLE-Kのフィールド湾曲は、放出源軸面の円筒補正条件に、これらの補正条件の円筒対称軸がy軸にある基本反射面を追加することにより、エネルギー集束目的（反射体の大きさと螺旋の長さに依存する）に影響されることがある。

【0194】好ましい逆反射体262は、実質的な軸対称湾曲を有し、光軸24は、放出領域が軸対称容器42内で軸方向に集められる場合には、その対称軸となる。放出領域がその容器42に対して中心以外に配置される場合は、理想的には軸外対称逆反射体が使用される。光軸を含む面の非球面湾曲は、逆反射源の像が最小の像歪みとなるように、つまり容器42の光学的な歪みの影響と、細長い放出源の軸外像の収差が釣り合うように好ましくは選択する。好ましくは、逆集束像はできるだけ平坦である。しかし、湾曲像の解もまた、ABT250と組み合わせると全伝達効率を最適化するために役立つ。

【0195】さらに、図16を参照すると、面積効率のよい方法において、このような放出体積EVS'Jを集めるために、ABT250には、特別な適合入射ポートIP1、出射ポートOP1が使われる。MES144に適合させた入射ポートIP1の面積集束効率をさらに向上させるために、特別な入射ポート処理部がその受光面AS1に対して好ましくは使用される。図16において、入射ポートIP1は、前述の様々な点で視認性を向上させるために、MES144から後戻りするように示した。受光面AS1の全体の湾曲は、好ましくはMES144の湾曲と適合する。また、階段型の局所面処理部が示されており、これは受光面AS1の湾曲による面積損失を最小にする。これは、前述の可能な好ましい補助光学面処理部の一例である。ABT250の本体は、中空反射性または固体透明性の適切なテーパ型LGであってもよい。

【0196】細長いタングステン放出源は、その長軸方向のフィラメント自身の陰(self-shadowing)によって、軸非対称角度放出エネルギー密度関数（ファンクション）を有する。従って、このような好ましい所定のMLEの出射ビームも、軸非対称角度エネルギー密度関数を有する。例えば、長い円筒と、円または正方形に近い長方形のような、放出源と集束目標の間の空間形状の不適合度が非常に大きい場合は、適合させたABTの領域利得が重要な利点となり、前述のように、領域再変換機能(area reformatting task)に着目し、面積効率のよくな

い領域再変換ABTは、角度依存エネルギー分布を対称にするので、これらを使用することが考えられる。必要に応じて、補助入射光学系として、アナモルフィック・カップリング光学機器(anamorphic coupling optic)や、アナモルフィック・テーパ型(anamorphic tapered)LGを使用することもできる。

【0197】前述のように、角度を有するLGアクセプトまたは受光領域(acceptance area)の局所的なプリズム効果(local prism effect)を補うビーム方向変換機能(beam redirection task)を実現する異なる方法がある。図16は、理想的な湾曲のMES144にほぼ近い階段型を使って、傾いた入射面、つまり湾曲したLG受光面AS1で、局所的に変わるプリズム型のビーム方向変換効果によって生じた角度方向変換効果（いくらかの面積損失となる）を最小にする。

【0198】この発明の別の好ましい実施例は、所定の受光面AS1の特定の湾曲によって得られるプリズム効果を使用する。この好ましい曲面は、プリズム効果が、所望のビーム伝達軸の方向変換を単独で達成する（例えば、主ビーム伝達軸(main beam propagation axis)を直線にする）ように、平均的なビーム伝搬方向（図16に示したように、2つの異なる螺旋型の結像位置の方向）の所定の変化に適合させる。両方の実施例は、局所的な階段形状が、ビームの方向変換用の補助光学系としても機能するように組み合わせ、入射ビームの主伝搬軸の局所的な変位を補正できる。また、必要に応じて受光面AS1に光学的な表面層を形成し、ビーム伝搬軸の局所的な補正を実現し、所定のビームに対するLG250のスループット効率を向上させることもできる。

【0199】図16を再び参照すると、このLGアダプタ250の出力面の形状は、円形を有するように選択され、必要に応じて取り外し可能なLG254へカップリングするように示されており、LG254は、一定の円形の断面と垂直終端受光面(perpendicular terminated acceptance surface)AS2を有する。他の出射形状を必要に応じて選択することもできる。また、図16は、別の好ましい実施例として、反射性、高NA、準結像、カップリング光学機器252を示しており、光学機器252は、発散角を拡大することによって、ビームの角度発散(angular divergence)を変化させ、同時に、実質的に面積を維持しながら、ビームの断面領域を低減する。このような光学系は、波長に依存しない対称ビーム変換とビーム走査機能を同時に行うために用いられる。LG254の受光面AS2は、このLGLE-K用の目標TKを構成する。

【0200】また、追加領域/NA適合機能(matching function)が不要な場合は、受光面AS2を、LG250の放出面ES1に直接カップリングすることもできる。必要に応じて、ガラス-空気インターフェースで反射防止膜を使用したり、出射面ES1と入射面AS2の

間で、屈折率を適合させるゲルや油等の適切な屈折率適合透明材料の薄い層を使用することにより、フレネル・カップリング損失を低減できる。LG254をシステムから分離する必要がなければ、LG250と254の両方を、光学的に透明な接着剤で結合させることもできる。この発明の範囲に限られることなく、LG250は、適切な放出源エネルギーを直接、最終的な使用位置に集束させ伝送するLGL E内のLGのみであってもよい。さらに、LG250や254で直接、領域/NAを適合させることもできる。例えば、テーパ型光ファイバを使って、適切なLG250を構成できる。

【0201】図16は、低コスト直線タングステン螺旋放出源、細長いアークランプ、MLE-K内の高効率直線ランプなどを用いて、スループット効率のよい低コスト光ファイバ照射器を構成し、標準的な円形のLGを照射する方法も示しており、必要に応じて、ABTSとして機能するLGアダプタ250や、適切な光学カップリング機器252を使用する。これは特に、従来のLGL Eで可能となる以上に、低コストと高伝達効率が要求される光ファイバ放出源に対して重要度が高い。

【0202】この発明の前述の内容を使用して、一般的な体積型または表面型放出源(generic volume or surface source)に対して、面積効率のよい方法で細長い放出源を集束させる方法を示すと、図16に示した好ましい実施例から、LGL Eの効率をさらに改善するために、放出源Sの設計は、使用目的に応じて、MLEとLGL Eの設計と共に進めなければならないことがわかる。

【0203】例えば、タングステン線は、高濃度に覆われる半円形に配置される。次に、逆反射体は、全円が所定のCCSで光を放出するように見えるように戻して、放出されたエネルギーを結像させる。前述の内容に基づいて、この発明を使って、特定の設計やLG入射ポート製造条件で最適化した様々な寸法の放出源構成が可能となる。これら全てのランプ設計解の基本的な共通性は、放出体積/表面の三次元形状と、放出源S、MLE、遠隔エネルギー伝達用LGのエネルギー集束入射ポートIPiを適合させたものの製造時の複雑さを、最適なコスト効率バランスを達成するために、互いに釣り合わせなければならない。

【0204】前述の補助逆反射体を使用することによって、好ましい共焦点キャビティが、より大きな放出角を集束できるように構成でき、利用不可能な光を、利用可能な光の生成に役立てるより効率的な色再変換MLEを構成できる。

【0205】この発明の別の好ましい実施例では、放出体積または表面の空間形状も自由に最適化できる場合、所定の目標TのLEをさらに最適化できる。この放出源形状のさらに適合させた設計最適化段階は、所定の目標と電気出力レベルに対する伝達効率を改善し、LE全体の製造コストを低減できる。

【0206】図18は、所定のABTSとして一体式テーパ型LG300を備えた密閉型反射体ランプSM(LGLE-H、LGLE-I、LGLE-Kと同様)として、導光型光エンジンM(LGLE-M)を概略的に示している。図18の放出源Sの放出エネルギーは、放出面ESSMと幅Wを備え、長方形の断面形状を有し、螺旋を巻き付け可能な程度の薄さで、しっかりと巻き付けた(不透明)タングステン螺旋(三巻で図示)から放出されるように、ここでは示した。この螺旋の光軸24は、システム軸28と直交する方向に配置され、オフセット距離 $D \approx W/2$ (前述のように)を有する。この放出面ESSLの右半球内への放出は、RRS140での反射の後、像を反転した仮想放出体積EVS Mを形成し、EVS Mは、放出面ESSMと対向し、軸28に対して鏡面対称となる。前述のように、必要に応じて、放出面ESSMは、光学系の軸28と直交する平面ではなく、湾曲した所定の方向を有し、特に制限されたLEへの伝達効率を改善できる。

【0207】CCS-M、つまりPRS142は、左半球内への放出を第2放出体積(secondary emission volume)EVS' Mに集め、このEVS' Mは、テーパ型LG300内に配置されるように設計する。逆反射体140は、MLE-Mの出射ポート146にLG300を備えた、2つの反射体部材148、152からなる折り返された反射体(LGLE-Hと同様)として、ここでは示した。必要に応じて、フィルタ部材302(ここでは反射体148の成形または接地形状によって固定されるように示した)を使って、MLE-Mの出射ビームを、容易にスペクトル的にフィルタ処理する。例えば、不要なIRエネルギーを除去することによって、いくつかの型式の光学系に対して、プラスチック材料から構成されたLGや、エポキシ光ファイバ入射ポートを備えたLGを使用できる。必要に応じて、この補助用フィルタ部材をLG300の入射面に配置することもでき、反射体142の反射膜が、スペクトル波長制限特性(spectral band width limiting property)を有することもできる。

【0208】この発明の前述の好ましい実施例の主な違いは、MES144が、テーパ型LG300の入射面近傍ではなく、その内部に配置されることである。この特別なLG300は、図18において、適切な透過性コア材料310と周りの適切な低反射性クラッド材料層(low refractive cladding material)312を有する単一コア、テーパ型LGとして示した。好ましくはLG300を、中空反射型チューブから構成することもできる。LG300はテーパ型LG断面のような形状を有し、集束させる光ビームの伝達にMES144は干渉しない(コア材料310とLG300の異なる屈折率による標準的な屈折効果を除く)。しかし、MES178の軸位置LEの近傍において、LG300の断面領域は、光ビームの選択した部分(所望の集束面積Ecに依存する)を、

その後LG300が導く断面に（前述のように）移行させる。必要に応じて、LG300の断面形状は、目標の最終的な照射形状または別の光学系へのカップリング（例えば、図18に示したような複数のLG320i）に適した便利な出射形状に徐々に移行する。このような光学系は、湾曲したMES144から面積効率のよい方法で光を捕捉し、図16に示したLGL-E-Kと関連付けながら上記に説明したような、非常に特別な入射ポート構成は不要である。

【0209】従って、MES144の前のLG300の断面は、LG300を使用した面積効率のよい光集束に役立つ補助光学機器とみなすことができる。この目的の場合、LG300の入射面322を湾曲させ、CCS-Mと組み合わせて、集束効率と製造コストの間のバランスについて最適化した光結像素子として機能させることもできる。この補助光学機器（MES144のテーパ断面）は、直接放出される放出源の光のいくらかを、MES144で使用可能な光に変換可能にして、光学系の全伝達効率がさらに増大するように設計することもできる。

【0210】この発明の別の好ましい実施例では、MLE-M、補助逆反射体148、LG300は、入射側に適切な反射やフィルタ処理を行う膜を備えた単一の成形ガラスまたはプラスチック部材からなり、適切なクラッド層または反射膜層312は、少なくとも軸のLE位置の前から始まり、その後続いて、コア材料310に適合する適切なLGを構成する。

【0211】反射体142の第一焦点近傍に配置した複数のタングステン螺旋（必要に応じて個々の出力を制御する）を放出源として使用し、同様のまたは（必要に応じて）異なるテーパ型LG300内に集束させる。この概念によって、必要に応じて集束効率をやや犠牲にし、放出源の冗長度やコスト低減などの他の利点を得ることによって、例えば、自動車の道路照射システム等の高、低ビーム光集束システムが可能となる。

【0212】図18に戻ると、さらにLGに基づく光ファイバ照射システムが、最終的にMLEや、特にLGから光を受け取る一つまたは複数のLG320iを備えた概略図に示されており、LG300は特別な例として示した。さらに、これらの第二LG320iの出射ポートOP2-iの光軸322iは、カップリング光学系340iと組み合わせて、選択した最終目標領域で、適切な照度が得られるように配置される。トンネル、塔、舟などを業務上遠隔から照射する場合、これらの概念に基づいて構築され、所望の出射レベルごとに、光伝達の全コストや保守コストを低減できる。

【0213】同様に、出射ポートOP2-iと対応するカップリング光学機器252iを選択して、特定の光強化材料処理用に適合させることができる。例えば、出射ポートを細長い長方形として、適切な線状放出源を提供

できる。他の形状も必要に応じて構成できる。

【0214】図19は、特定の型式のLE、つまり投写スクリーン98上に、透過型構成の目標(transmissive configurable target) (LV100で示される)の画像強度を投写するために用いられるPLE-ABの設計用の、この発明の第1の好ましい実施例を示している。この投写スクリーン98は、所定のPLEの目標TABである。

【0215】所定のMLE-ABは、図19では基本的なMLE-F型として示した。しかし、この発明の他のMLEの実施例やそれらの変形全てを同様に使用することができる。MLE-ABの軸上の最小面積位置LE近傍に、必要に応じてカラーホイール110を配置し、時分割色ビームを生成し、レンズ410で集束させ、必要に応じてビームの断面形状の変更や均一化を行う光学システム(beam cross sectional shaping/homogenizing optic system)420上に投写する。図19は、このような光学系420の例として、同様のまたは異なる適合対(similar or dissimilar matched pair)として構成された、第1レンズアレイ422と第2レンズアレイ424を示している。システム420を構成する別の方法としては、位相格子または回折レンズ対(phase grating or diffractive lens pair)を使用する。システム420は、LV100でのビーム形状要件に実用上より適合するように、好ましくはビーム400の断面を再成形し、均一化するように設計される。補助集束レンズ426は、照射ビーム400の断面を、LV100の受光面ASLVに適合させるのに役立つ。

【0216】LV100（透過型LVを例示する）は、PLEの主要な面積制限光学素子であることが多い。好ましくは、照射ビーム400は、図5に示したPLE-AAの照射ビーム122とは異なり、その受光面ASLVの近傍またはやや後方に結像位置を有する。

【0217】投写レンズ系430は、LV100の出力を集め、投写スクリーン98上に結像させる。図19に示したように、必要に応じて、レンズシステム430を二つのサブシステム432、434から構成し、サブシステム432をLV近傍に配置して、LV100の出力を集め、サブシステム434をシステム432の結像位置の近傍に配置してもよい。

【0218】面積効率のよい所定のMLE-ABと、必要に応じてビーム形状や均一性を適合させるシステム420を使用することにより、PLE-ABの伝達効率が改善される。クリティカル照射(critical illumination) (LVに焦点を置く)と、適合させた投写レンズシステム430を使用することにより、必要に応じてさらに改善される。この発明の好ましい改善では、中間目標T'ABと所定のMLE-ABの要求に面積効率的に適合させたアナモルフィックビーム変換/均一化システム(amorphically beam transforming beam homogenizing

system) 420を使用する。

【0219】図20は、単一の透過型LV100の画像強度を投写スクリーン98上に投写するために使用されるPLE-AC設計に用いられるこの発明の別の好ましい実施例を示している。PLE-ABとPLE-ACの間の主な違いは、後者が、やや柔軟性を有する高伝達効率LG448を用いて、少なくともエネルギー伝達機能と、領域再成形機能を実施し、色ホイール110は、この発明の好ましいMLE実施例の1つから選択した所定のMLE-ACの軸上最小面積位置のやや前に配置する。カラホイール110の所定時刻での効率を最大にするために、カラーホイールの位置は、好ましくはできるだけ軸上最小面積位置LEに接近させる。

【0220】LG448の入射ポートIPは、前述のように、好ましくは面積効率のよいエネルギー集束用のMLE-ACに適合させた形状とし、必要に応じてNA対称化補助入射機器(NA symmetrization auxiliary input optic) (ABT)を有し、出射断面は、空間的な強度均一化部分を有する(例えば、長方形に研磨した単一コアの集束ロッド)。また、透過型LVの場合を示した。必要に応じて、偏光感度のよい(polarization sensitive) LV100のために、PCS (図20では示されていない)を、LG448の出射ポートOPとLV100の受光面ASLVの間に容易に挿入でき、所定の入射ポートの集束領域は、約50%まで低減される。

【0221】LG448の出射ポートは、所定の発散角と断面形状を備えた明確な表面放出源を生成できる。従って、目標TAC、つまり投写スクリーン98への伝達効率を最適化するために、NA適合化および画像拡大カップリング光学機器430は、好ましくはLG448の出射ポートOPを、LV100の受光面またはそのすぐ後ろに結像させる。後者は、いくつかの方式の出射ポート製造工程(例えば、エポキシ樹脂製や溶融ファイバ束端部)で生じた高空間周波数強度変化(spatial frequency intensity variation)を最小にするのに役立ち、LV100の受光面ASLVで高空間周波数強度変化(画素化(pixelation))をなくす補助光学機器が不要になる。適合させた投写レンズシステム430は、LV出力を集め、投写スクリーン98上に効率的に結像させる。理想的には、LG出射面は湾曲させ、簡略化したカップリング光学機器450を使って、LV面での画像平坦化(image flattening)に役立たせる。

【0222】図21は、構造化可能な照射目標と中間目標T'ADの例として、反射型LV100を使用する投写光エンジンAD (PLE-AD)の別の好ましい実施例を示している。また、前述のように、面積効率のよいMLE-ADは、特別に適合させた入射ポートIPと出射ポートOPを備えたLG448と共に使用する。凹面軸上または軸外(ここでは軸外として示す)反射体460は、カップリング光学機器として使用し、中間目標

T'AD、つまりLV100の受光面ASLVにLG448の出力をカップリングする。例えば、このような反射体460は、出射エネルギー伝搬軸465を方向変換する楕円面464の適切な一部とすることができ、中間目標T'ADの受光方向466と一致させて、出射発散角 $\theta$ LOUTを、LV100の受光発散角(output divergence angle)  $\theta$ LVに適合させる。これを実現するために、反射体は、好ましくは図21に示したように軸外位置で使用し、出射ポートOPとLV100は、所定の楕円面464の主軸467上において、各々所定の焦点の近傍で短軸468に対してほぼ対称に配置する。主軸467に対して適切な角度470で、LG448の出射ポートOPを配向させることによって、単一構成要素を使って、所望の画像拡大とNA適合が達成できる。このカップリング光学機器、つまり反射体460の結像誤差を最小にするために、楕円の主軸は、適切な大きさに選択しなければならない。適切なカップリング結果を得るためにより小型化が要求される場合は、補助レンズや反射体(図示せず)を出射ポートOPの近傍で使うことができる。また、この発明の別の実施例では、反射体460を反射型レンズ、つまり片側に適切な反射型被膜を形成したレンズとする。補助レンズまたはレンズ系や反射型レンズは、LEサイズを低減するのに役立つ。

【0223】出射ポートOPの右側に、拡大された画像を有するこの発明の別の好ましい実施例が示されており、表面構成SCLOUTは、LG448の放出面ESLの主軸477と、光軸478の間に0°ではない角度476を有する。このことによって、簡単な製造手段、つまり軸478に対して90°ではない角度で、LGの出射ポートOPを研磨することによって、非対称角度依存放出パターンを生成できる。このような偏った(biased)出射ポートは、カップリング光学機器への要求を簡略化し、さらに小型の設計が可能になる。また(図21に示したように)、出射ポートOPの出射面は、適切な湾曲面として、受光面ASLVで平坦な画像面を得ることができる。

【0224】再び図21を参照すると、目標照射方向170が斜め方向にあるDMDまたはTMAの反射型LVに適した設計状態が示されている。また、投写レンズ系430を軸外利用して(軸479がレンズ軸480と異なる)、一般的な方向479にあるLVが反射した光を集めて、投写スクリーン98上に結像するように示した。このPLE設計によって、斜め方向の入射角に対して、投写スクリーン98上に、LV強度分布を基本的に補正した画像を生成できる。この斜め方向のスクリーン照射は、照射する投写スクリーンの前面のテーブルに投写装置を配置する、前面投写型の場合は非常によくある状態である。この状態は、斜め方向の角度のより低い位置に取り付けた投写スクリーンを照射するシーリング部取り付け型投写装置の場合にもよく見られる。

【0225】なお、楕円反射体形状の代わりに、同様の結像機能を実現する他の非球面形状を選択することもできる。例えば、トロイダル反射体は、楕円反射体の良好な近似であることが多く、さらに低コストな眼鏡用製造機械を使って作製できる。また、非球面カップリング系が好ましい場合もあり（図23を参照しながら下記に説明する）、反射体460は、しかるべき修正または、LG448の出射ポートOP近傍の円筒レンズまたは二軸レンズと組み合わせて、PLEの設計制約内で、十分良好な結像系を実現しなければならない。

【0226】図23は、PLE-AF用のこの発明の別の実施例を示している。2つのLGを使って、色ホイール600のスルーット効率を改善する。前述のように、面積効率のよいMLE-AFの出力は、第一LG448の入射ポートIP1上に、発散角 $\theta$ で集められる。その入射ポートは全て、全入射面積AS1と、受光角 $\theta_{lin} \geq \theta$ に対応する有効面積A1outを有する。LG448の出射ポートOP1は、有効表面積A1outの放出面ES1を有する。出射ポートOP1から出射角 $\theta_{1out}$ で出射する光は、カップリング光学機器620で集められ、集束ビームが、色ホイール600で断面積A'cwと、対応する出射角 $\theta_{cw}$ を有するように、色ホイール600上に集束させる。カップリング光学機器630は、色ホイール600を通過した光ビームを集め、第2光ガイド640の入射ポートIP2上に発散角 $\theta_{2in}$ で集束させる。入射ポートIP2は、有効光集束面積A2inを備えた入射面AS2を有する。出射ポートOP2から出射角 $\theta_{2out}$ で出射する光は、カップリング光学機器650で集められ、LV100の有効受光面ASLV、つまり所定の中間照射目標T'AF上に集束させる。PLEの大きさと重さが非常に重要である、この発明の別の実施例の場合は、カップリング光学機器620または630の一方は、図23に示したPLEから除外することが望ましい。このことによって、PLE-AFの伝達効率DEはやや低下するが、PLEの部品数と大きさも低減できる。

【0227】次に、反射型または透過型LV100（図23では反射型として示した）の出力は、投写レンズ系430で集められ、LV100の出射部の強度分布を拡大した画像を形成する遠方のスクリーン98に投写される。アンドリアヌスH. J. バンデンブラントへの米国特許第4969730号で説明されている全内部反射型プリズムと同様の特別な光学カップリング要素650と、米国特許第5022750で説明されているカップリング光学機器を使用することもできる。

【0228】クリティカル照射方式(critical illumination scheme)（LV100が図23に示したような中間目標である）は、伝達効率を最大にするのに好ましいが、ケーラー照射方式（投写レンズシステム430の入射ビューピル(entrance pupil)に焦点を合わせるもので

図23には示されていない）または中間的方式（図5参照）を同様に使用して、この発明においてPLEの設計制約と伝達効率のバランスを取ることができる。

【0229】なお、PLE-AC（図20）とPLE-AD（図21）は、PLE-AFを簡略化した変形版（LGを減らした）であり、エネルギー集束および伝達システムの一部としてLGを1つしか使用しない。好ましいPLE設計方式の下記の説明は、前述のように、カップリング光学機器620または630を1つしか使用しない、PLE-AB、PLE-AC、PLE-AD、PLE-AFの場合にも適用する。

【0230】なお、ほとんどのPLE設計の場合、角度 $\theta_{1out}$ 、 $\theta_{cw}$ 、 $\theta_{2out}$ は軸対称、つまり所定のアジマス(azimuth)角 $\Psi$ には依存しない。しかし、LG448、640が各々のエネルギー伝達軸に直交して終端されない場合は、各受光角と放出口はやや軸非対称性を示し、この発明のいくつかの好ましい実施例で（図21参照）使用して、さらにLE設計を簡略化し、改善できる。

【0231】必要に応じてカップリング光学機器620、630を備えたLGガイド448を使用して、色ホイール600の所定時刻の効率をさらに改善できる。一般に、各LGの入射ポートIPと出射ポートOPの表面構成SCin、SCoutは、異なる光学要素の間のカップリングを最適化するように選択する。さらに、図23を参照すると、領域再変換を行う主要な機会が、少なくとも2つまたは4つある。まず、LV100の入射面ASLVへの出射ポートOP2のカップリングを説明する。次に、ポートOP1、IP2と色ホイール600の間のカップリングを説明する。MLE-AFと、適合させたLG448の入射ポートの間のカップリング最適化は、すでに上記で説明している。

【0232】所定の各LV100はいずれも、特性受光角関数(characteristic acceptance angle function)  $\theta_{LV}(\Psi)$ を有する。アジマス角 $\Psi$ はここでは、照射ビームのエネルギー伝達軸と直交する面において、LV100の光学的優先軸(optical preference axis)104に対して定義する。受光角関数 $\theta_{LV}(\Psi)$ は、所定のLVの設計と照射方向で部分的に定義し、PLEに要求されるコントラストに部分的に依存する。従って、PLEの伝達関数は、使用するLVの型式と、そのLEに対する所定の光学設計の限界の両方に依存し、投写スクリーン98へのPLEの最大伝達効率DEに対して、LVの特性受光角関数 $\theta_{LV}(\Psi)$ を最大にする。

【0233】出射ポートOP2と受光面ASLVの間の適切な面で、カップリングビームと交差するマスク660を必要に応じて使用し、マスク660が通過させるより大きな角度エネルギー密度関数を有する所定の照射ビームから、どのような形状の非対称角度照射パターンでも形成することができる。

【0234】図23に示したように、この発明の別の好ましい実施例では、光出射ポートOP2とLV100の間のカップリング（伝達効率DE）が最適化されるように、出射ポートOP2の表面構成SG2<sup>out</sup>を選択する。なお、例えばDMDやTMAといった、いくつかの型式のLV100の場合、平均的な入射エネルギー方向は、受光面ASLVの主軸480と平行ではない。これらの場合、好ましい光学機器650は、“シャインプルーグ(Scheinflug)”型とし、つまりその光軸、所定の放出面ES2、受光面ASLVは、受光面ASLVにおいて、結果的に拡大された放出面AS2の画像が、面全体で同じ集束レベルとなるように、間隙を介して配置する。こうして、焦点が受光面ASLVの後ろにある、つまり非クリティカル照射方式の場合でも、均一な照射強度とする。さらに、図23に概略的に示したように、光学的優先軸104に向けた結像用ABTSとして機能する、2つの直交する円筒レンズ664、666を使用する場合、好ましい横倍率M(Ψ)と光カップリング機器650の対応する角度変化は、角度方向φによって異なるものとなる。従って、この発明の好ましい実施例は、一般に軸非対称またはアナモルフィック・カップリング光学機器650を利用して、角度放出分布θ2<sup>out</sup>(Ψ)を決定する所定の種類のアジマス角φを有するビームを、LV100の所望の受光関数θLV(Ψ)にできるだけ適合させた角度エネルギー密度関数を有するビームに変換する。この方法の場合、マスク660は、利用可能なエネルギーの最小量だけを必要に応じて切り取り、PLE-AFの伝達効率を最大にする。

【0235】図24は、異なるアジマス角Ψに対して、出射ポートOP2から受光面ASLVへの照射ビーム・カップリング・エネルギーの最大受光分布θLV(Ψ)を決める概略図を示しており、縦軸は光学的優先軸104に平行である。大きな円670と小さな円672は、最大受光角θLV(Ψ)=θLVが、各々θLV=15°とθLV=10°であるビームを表している。縦軸で大きな円670に隣接し、横軸で小さな円672に隣接する楕円674は、DMD型またはTMA型のLV100の照射効率を改善するための、この発明の最大受光角θLV(Ψ)を決定する好ましいアジマス角φである。例えば、この楕円型のアジマス角関数674は、異なる横倍率、つまりM(Ψ=90)=1.89・M(0)を有して直交する2つの円筒レンズ662、666を使用して、軸対称（または前述のような非対称）LG出射ビームを2軸結像させる。なお、楕円形状674は、米国特許第5442414号のDMD型光バルブに対して説明した投写マスク675の大きさと機能に関係している。しかし、この発明の前述の好ましい実施例は、非対称マスクを全く使用せず、より高いスループット効率を有する。従って、所定の状況下では、カップリング光学機器650の前述の好ましい実施例は、マスク660を

完全に不要にできる。このことによって、LVの機能上の要件、つまり光学的優先軸104と交差する方向のエネルギー伝達を低減し、散乱と関連するコントラスト損失を最小にしながら、カップリング光学機器650の伝達効率DEを最大にする。

【0236】受光面ASLVで照射ビームの断面形状を適合させるために、出射面AS2は、カップリング光学機器650の倍率M(Ψ)に逆比例させて事前に歪めたLV面の断面に適合させなければならない。さらに正確には、所定の面の法線方向によって異なる平均エネルギー伝搬を有することから生じる歪みの影響もさらに考慮して、理想的な断面を見出して、出射面AS2を事前に歪ませる必要がある。図25は、近似として、表面の湾曲の影響と、表面の法線方向480に対する傾きを無視し、受光面ASLVの断面の相対的な大きさと形状、およびLGガイド放出面ES2を適合させたものを示している。ES2の好ましい大きさと形状を計算するために、次のように角度を仮定する。表面ASLVの最大半円錐受光角(maximum half cone acceptance angle)は、光学的優先軸104に対して平行に15°、垂直に10°とし、表面ES2の軸対称放出半円錐角は、θ2<sup>out</sup>=30°とする。なお、これらは結果的に、図24の楕円676と同じ仮定となる。

【0237】このように、クリティカル照射方式の場合、最適LG放出面ES2の好ましい形状、大きさ、方向は、関連する受光面ASLV、平均入射角170、最適受光角θLV(Ψ)を備えた所定のLV100によって主に決定される。さらに、放出面ES2は、出射ポートOP2から出射する角度依存エネルギー密度関数に依存し、より少ない割合であるが、放出面ES2の理想湾曲に影響する所定のカップリング光学機器650の理想性能からの偏差にも依存する。さらに、出力ポートOP2とカップリング光学機器650の間の相互作用は、主エネルギー伝搬方向を変え、好ましい所定のLG出力ポートOP2の製造手順を簡略化する前述の補助光学機器の利用によっても影響される。従って、製造コストと、受光面ASLVへの出力ポートOP2の伝達効率DEの性能の両方を最適化するために、カップリング光学機器650と出力ポートOP2の設計は、両方同時に最適化しなければならない。

【0238】LV100の受光面ASLVでの照射ビームの空間均一性を向上させるために、いくつか別の方法が考えられる。その別の設計方法のいくつかは、すでに上記に説明したが、LGの構成に関連するものである（入射ファイバと出射ファイバをランダム化する、LG端部近傍でのクロストークを低減するなど）。2つ以上のLGを直列にカップリングすることによって、低空間周波数での強度変化を簡単に低減できる。高空間周波数での強度変化を低減するために、カップリング光学機器650はやや焦点を外して使用するよう設計する。光

学機器の設計や放出面ES2の湾曲を適切にすることによって、平面照射に対するローパス・フィルタ効果も実現できる。さらに、補助光学要素を出射ポートOP2に追加し、ローパス・フィルタ要素として機能させることもできる。このようなローパス・フィルタ要素の例には、所定の適切な断面を備え、必要に応じて、より低い発散角 $\theta_{2out}$ を備えたより大きな放出領域にテーパ状に移行する、中空反射チューブや単一のクラッド・ロッドがある。カップリング光学機器650に追加できる他の光学要素としては、ビームの一部を他の部分に対して横方向に移動させるモアレフィルタ部材がある。位相格子、回折光学素子、制御した拡散板などを使用して、所望の効果を実現することもできる。現在の製造方法を使用すると、適切に設計された光学機器650の各光学素子は、一度にいくつかの機能を提供できる。例えば、横方向の拡大や関連する角度変更機能を実現するほかに、これらの部材は、必要に応じて、ローパス・フィルタ処理機能、制御された拡散機能、マスク機能なども実現できる。さらに、PLEパラメータ制約が許されれば、カップリング光学機器650は単一の透過型要素とすることが望ましい。図21に示した反射体460と同様に、このようなレンズを簡単な反射型としたり、反射型、回折型、位相格子(phase grating)の組み合わせとすることもできる。

【0239】図23は、この発明を使用した特別な設計解であって、非常に狭い照射ビームと同様の大きさの集束LGを提供することによって、色ホイール600の高スループット効率TECWを最適化したものを示している。

【0240】例えば、図20、21に示したPLE-A、PLE-ADの場合のように、所定のMLEは、第2放出体積EVS'の断面の長軸が、色ホイールの軸112に対して半径方向に配置されるように、色ホイール600に対して配置することが望ましい。好ましくは、色ホイール600は、軸位置LEのやや前方で放出体積EVS'と交差し、LG448の入射ポートIP2は、適切な方法で放出体積EVS'から光を集めるように構成される。

【0241】再び図23を参照すると、このように、表面構成SC1<sup>out</sup>、SC2<sup>in</sup>の設計構成の選択によって、タイミング効率(timing efficiency)TECWにおける利得や、色ホイール600の領域効率(area efficiency)AEの間での選択が可能となる。この発明を使用することによる新しい設計自由度は、全投写表示システムの効率や製造コスト面と共に、小型化や携帯性を最適化する新しい柔軟性を、PLE設計者に与える。

【0242】図26は、この発明に基づいてさらに簡略化したPLEを示している。MLE-AFは、密閉型または準密閉型キャビティ(quasi-sealed cavity)690として示されており、放出源の軸24に沿って2つの対

向する立体的な凹み710を備えた外側容器を構成し、ランプポスト44、46のシール712は、凹み710を介してキャビティ690の外側に伸びている。ヒートシンクあるいは放熱部730は、シール712の近傍のランプポスト端部に取り付けるように示されており、これらの冷却に役立つ。リード線205は、ランプポスト44、46の内部に組み込まれた電極に電流を送る。このような好ましいMLE-AFは、所定の反射体高さについて説明した放出源の遮蔽と出射ポートの損失の両方を低減でき、内側容器42と熱的に分離させて、ランプポストシール712へのアクセスを容易にする。この方法の場合、内側容器は、容器42の材料制約による可能な上限動作温度近傍で使用することができ、同時にMLE-B型設計で通常可能な温度範囲以下に両方のランプポストシール712を保持できる。従って、この二重容器型システムは、長寿命のランプ/反射体システム構成するのに役立つ。必要に応じて、キャビティ690の内部体積を排気し、ゲッタ材料を使用して不純物を吸収し、キャビティ690の適切な位置の穴(図26には図示せず)から、ブロー時に強制的に入れた空気による内壁の汚染を取り除き、内側容器42を最適な範囲まで小さくする。PLE-AFも、長方形の非対称テーパ型集束ロッド740を有するように示されており、集束ロッド740は、ABTSとして機能し、図23と関連させて説明したように、角度的に対称化した出射ビームまたは非対称ビームのどちらか一方を提供する。また、LG740の出射ポートは、LV100の異常入射モードを“シャインプフルーク”補正する。投写光学系は、軸外モードで使用するように示されており、固定された出射角方向に対して主要な補正を行う。

【0243】図示されていないが、別の好ましいPLE-Gでは、三つのLG(図15に示したLE-J用のもののように)の出射ポートを使って、走査プリズムにカップリングし、前述のように各LGの端部を特別に加工することによって、単板スクロール・カラー投写装置(例えば、米国特許第5528318号および他関連特許に開示されている)の所定のカップリング光学機器を簡略化する。前述のように、この型式のPLEは6または12の係数でビーム面積(beam etendue)を増大させ、LVを小型化するほど効率的にできるので、この発明をさらに改善できる。

【0244】この発明の範囲内において、様々なPLE用の前述のLV100は、構造化可能な照射目標であって、画素毎に入射光ビームの伝搬を変調して、出力ビームを処理する機能を有するいずれの形態のものとも置き換えることができる。例えば、LV100は、変更を行うことなく、この発明に基づいて、透明スライド、映画フィルムのフレーム、反射型または透明画像などと置き換えることができる。

【0245】この発明は、様々な実施例について説明し



てきたが、この発明の精神と範囲内において、さらに別の広範囲の多様な形態も可能となることは明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は従来技術の L G L E - A の概略図である。

【図 2】 図 2 は別の従来技術の L G L E - B の概略図である。

【図 3】 図 3 A は、図 2 に示す典型的な A C アークソースの等密度領域のピーク正規化等高線マップを示している。図 3 B は、図 2 に示す従来技術の L G L E の軸ロケーション L<sub>rms</sub>でのピーク正規化等高線マップを示している。

【図 4】 図 4 は従来技術の L G L E - C を略図で図示しており、収集されたソース光 (source light) はソースエンベロープ (source envelope) を介して L G に焦点されている。

【図 5】 図 5 は従来技術の P L E - A A を略図で図示している。

【図 6】 図 6 は、改善されたエテンデュー率を有した本願発明の M L E - F と L G L E - F の側断面概略図であり、ソースエネルギー (source energy) はソースエンベロープ周囲で、特別にマッチしたインプットポートを備えた L G に焦点されている。

【図 7】 図 7 は、本願発明の異なる実施例の M L E - G と L G L E - G / A B T L E - G の平断面概略図である。

【図 8】 図 8 は、M L E - F あるいは M L E - G に対するロケーション L E での本願発明の特徴的な非対称密度等高線プロフィールを図示している。

【図 9】 図 9 は、M L E - F または M L E - G に対する本願発明の特徴的な非対称アングル依存エネルギー密度ファンクション (asymmetric angular dependent energy density function) の等高線マップを示している。

【図 10】 図 10 は、1.2 倍の歪像的に延ばされてテーパされたインテグレータロッド (1.2X anamorphically stretched tapered integrator rod) のアングルリフォーマット性能 (angular reformatting capability) を示している。

【図 11】 図 11 は本願発明のスペクトルリフォーマット性能を示している。

【図 12】 図 12 は、異なる M L E デザインの相対的収集率 (relative collection efficiency) とアクセプトまたはエミッションエテンデュ (acceptance or emission etendue) を示している。

【図 13】 図 13 は、フォールドされたレトロリフレクター (folded retro-reflector) を備えた L G L E - H の平断面図を略図で図示している。

【図 14】 図 14 は、L G L E - I のためのコンパクトでシールされたリフレクターランプ (compact, sealed reflector lamp) を略図で図示している。

【図 15】 図 15 は、トリプルカラーバンド発生システム (triple color band generation system) を備えたデュアルポート (dual port) L G L E - J を略図で示している。

【図 16】 図 16 は、カーブした最小エテンデュ表面 (curved minimal etendue surface) と、そのアウトプットが別の L G にカップリングされているマッチした L G アダプタとを備えた L G L E - K を略図で図示している。

【図 18】 図 18 は、自動車用の照明に適したインテグラルテーパタイプ (integral tapered) の L G を備えた L G L E - M を略図で図示している。

【図 19】 図 19 は、従来式ビームシェーピング/ホモジェナイジング光学システム (beam shaping/homogenizing optical system) を備えた改良 P L E - A B を略図で図示している。

【図 20】 図 20 は、ビームシェーピング/ホモジェナイジング光学システムとして L G を使用する P L E - A C を略図で図示している。

【図 21】 図 21 は反射式 L V のための P L E - A D を略図で図示している。

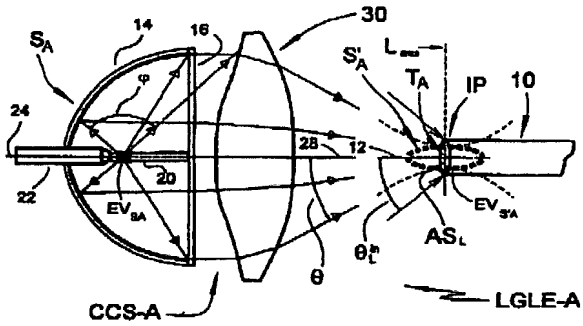
【図 23】 図 23 は、カラーホイール (color wheel) のスループット率を改善させるために 2 つの L G を使用した P L E - A E を略図で図示している。

【図 24】 図 24 は D M D タイプ L V の異なるアクセプト角を図示している。

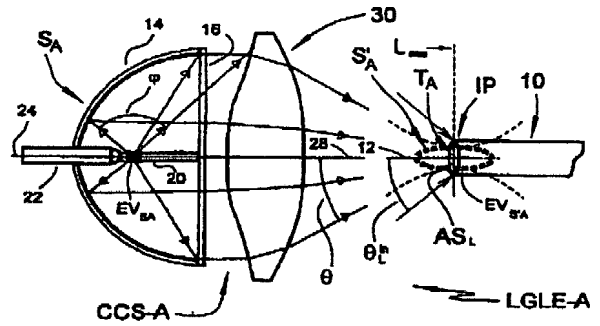
【図 25】 図 25 は、L G のマッチしたアウトプットポートを備えた L V の相対的サイズと断面形状とを略図で図示している。

【図 26】 図 26 は反射式 L V のための P L E - A F を略図で図示している。

【図 1】



【図 2】



【図 3】

典型的な AC アークソースの等高線

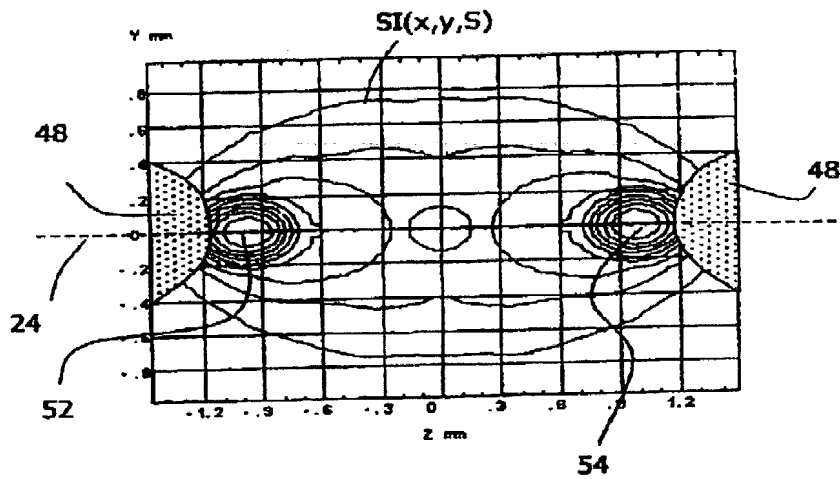


図 3 A

【図 6】

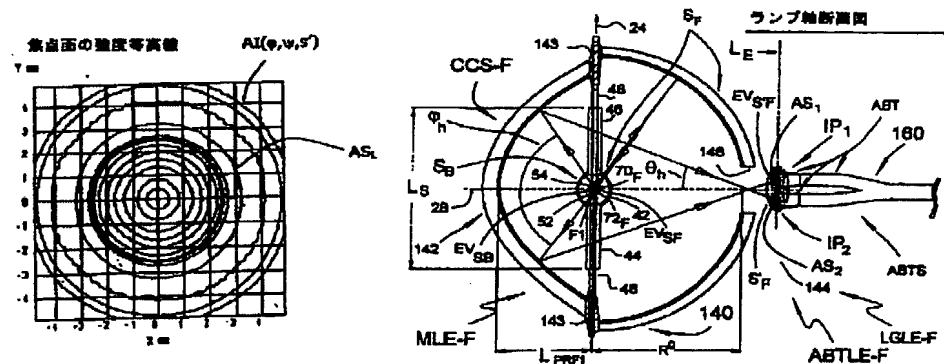
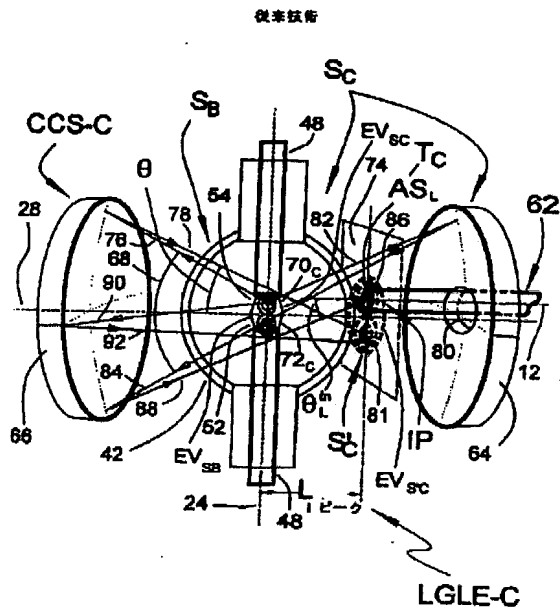
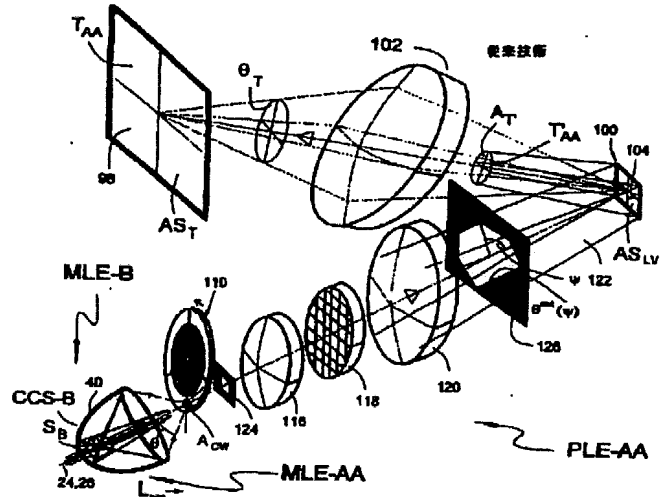


図 3 B

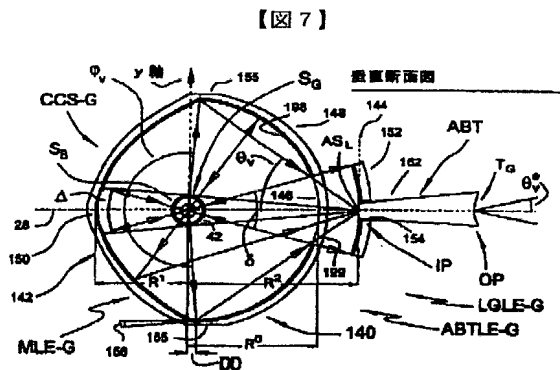
【図 4】



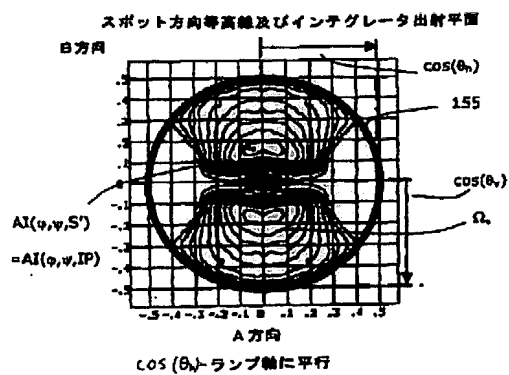
【図5】



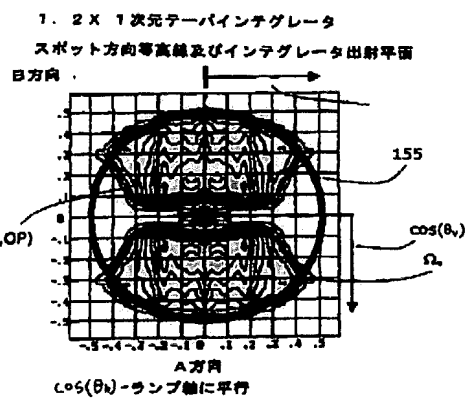
【図 8】



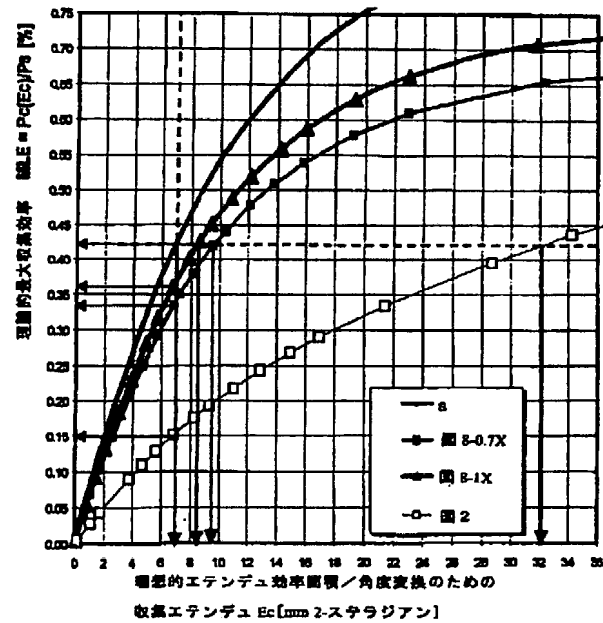
【图 9】



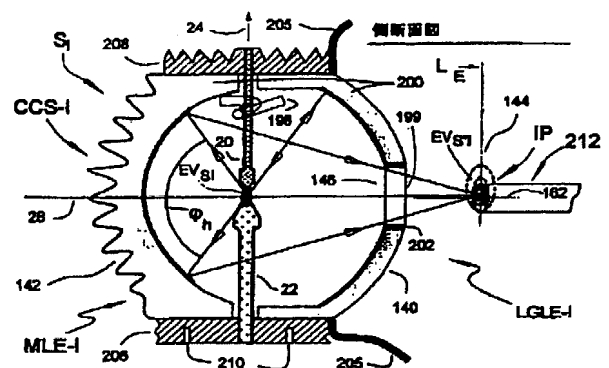
【図 10】



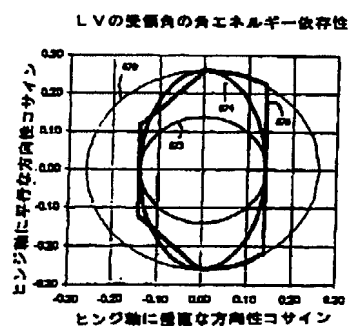
【圖 12】



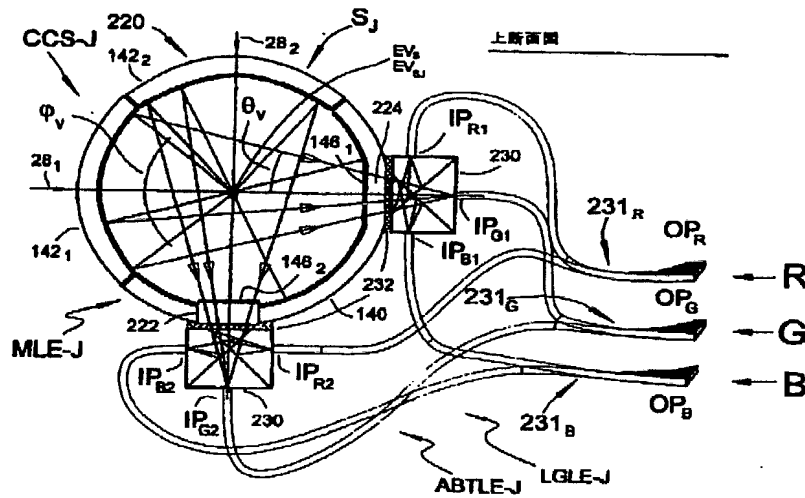
【图 14】



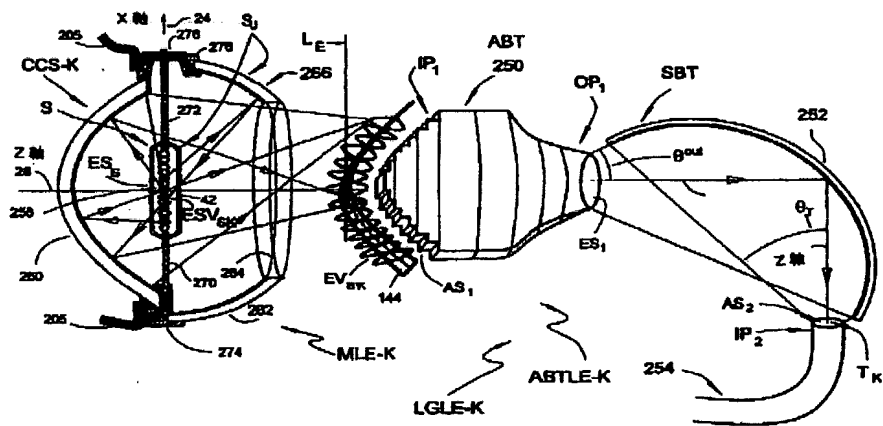
【圖 24】



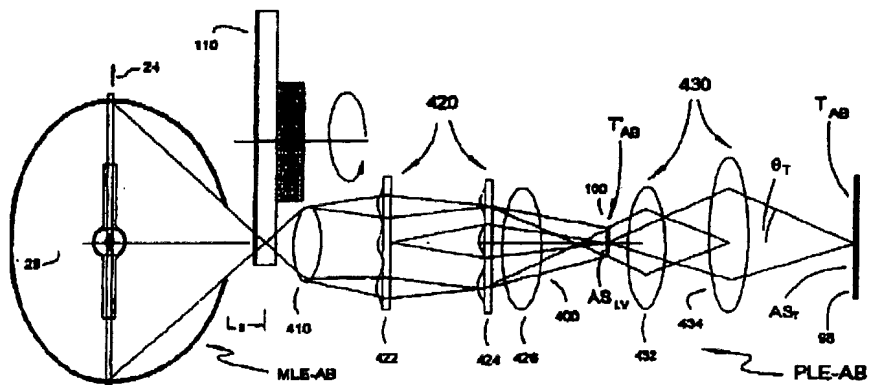
【図15】



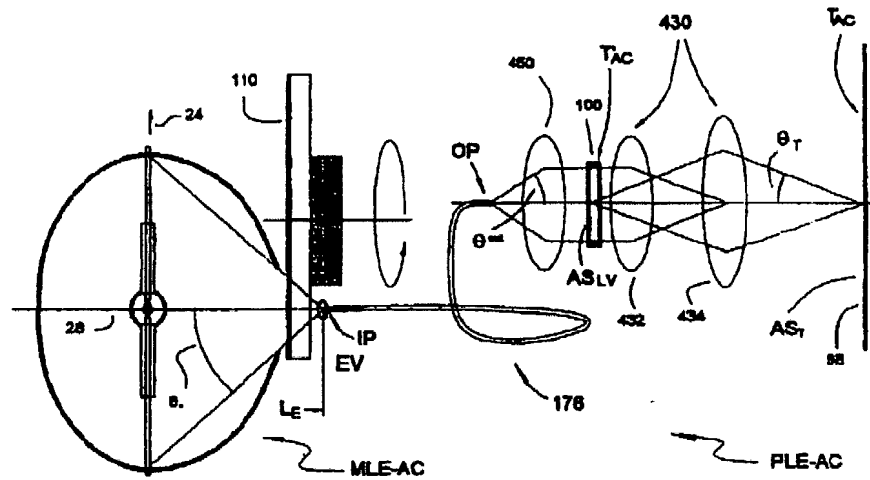
【図16】



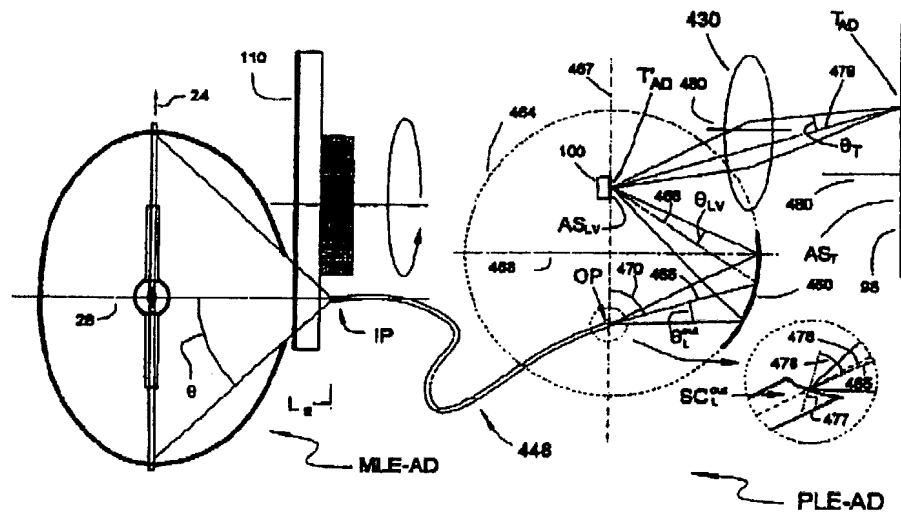
【図19】



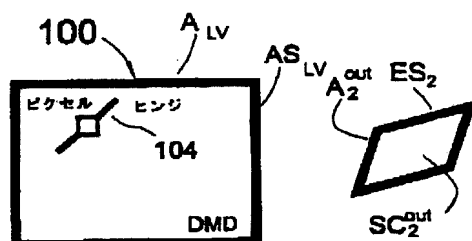
【図20】



【図21】



【図25】





している。

【図6】 図6は、改善されたエテンデュ率を有した本願発明のMLE-FとLGLE-Fの側断面概略図であり、ソースエネルギー(source energy)はソースエンベロープ周囲で、特別にマッチしたインプットポートを備えたLGに焦点されている。

【図7】 図7は、本願発明の異なる実施例のMLE-GとLGLE-G/ABTLE-Gの平断面概略図である。

【図8】 図8は、MLE-FあるいはMLE-Gに対するロケーションLEでの本願発明の特徴的な非対称密度等高線プロフィールを図示している。

【図9】 図9は、MLE-FまたはMLE-Gに対する本願発明の特徴的な非対称アングル依存エネルギー密度ファンクション(asymmetric angular dependent energy density function)の等高線マップを示している。

【図10】 図10は、1.2倍の歪像的に延ばされてテーパされたインテグレートロッド(1.2X anamorphically stretched tapered integrator rod)のアングルリフォーマット性能(angular reformatting capability)を示している。

【図11】 図11は本願発明のスペクトルリフォーマット性能を示している。

【図12】 図12は、異なるMLEデザインの相対的収集率(relative collection efficiency)とアクセプトまたはエミッションエテンデュ(acceptance or emission etendue)を示している。

【図13】 図13は、フォールドされたレトロリフレクター(folded retro-reflector)を備えたLGLE-Hの平断面図を略図で図示している。

【図14】 図14は、LGLE-Iのためのコンパクトでシールされたリフレクターランプ(compact, sealed reflector lamp)を略図で図示している。

【図15】 図15は、トリプルカラーバンド発生システム(triple color bandgeneration system)を備えたデ

ュアルポート(dual port)LGLE-Jを略図で示している。

【図16】 図16は、カーブした最小エテンデュ表面(curved minimal etendue surface)と、そのアウトプットが別のLGにカップリングされているマッチしたLGアダプタとを備えたLGLE-Kを略図で図示している。

【図17】 図17は、自動車用の照明に適したインテグラルテーパタイプ(integral tapered)のLGを備えたLGLE-Mを略図で図示している。

【図18】 図18は、従来式ビームシェーピング/ホモジェナイズング光学システム(beam shaping/homogenizing optical system)を備えた改良PLE-ABを略図で図示している。

【図19】 図19は、ビームシェーピング/ホモジェナイズング光学システムとしてLGを使用するPLE-ACを略図で図示している。

【図20】 図20は反射式LVのためのPLE-ADを略図で図示している。

【図21】 図21は、カラーホイール(color wheel)のスルー putt 率を改善させるために2つのLGを使用したPLE-AEを略図で図示している。

【図22】 図22はDMDタイプLVの異なるアクセプト角を図示している。

【図23】 図23は、LGのマッチしたアウトプットポートを備えたLVの相対的サイズと断面形状とを略図で図示している。

【図24】 図24は反射式LVのためのPLE-AFを略図で図示している。

【手続補正2】

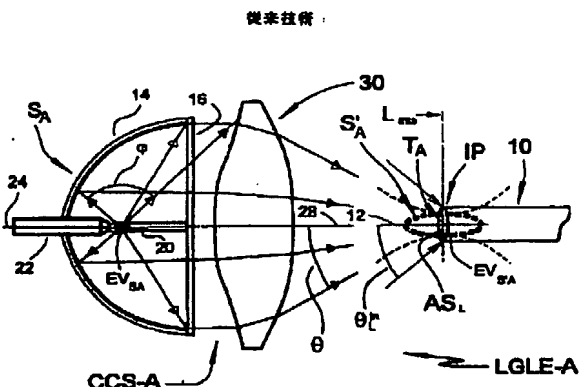
【補正対象書類名】 図面

【補正対象項目名】 全図

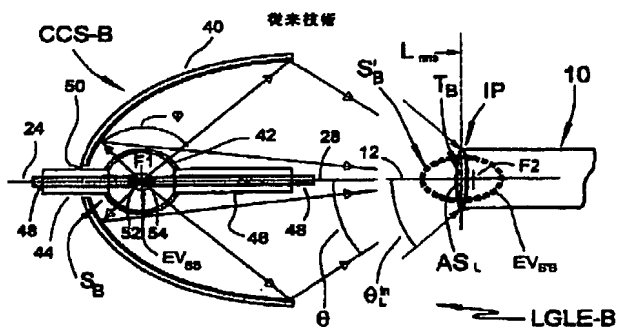
【補正方法】 変更

【補正内容】

【図1】

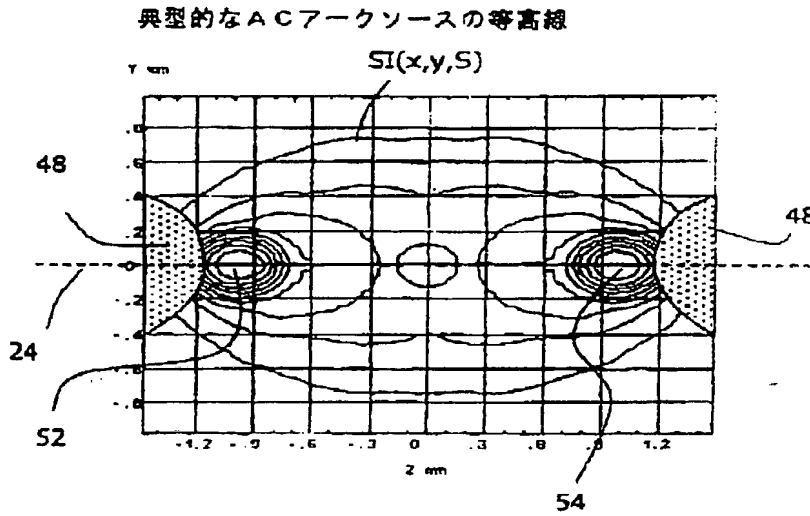


【図2】





【図3】



【図22】

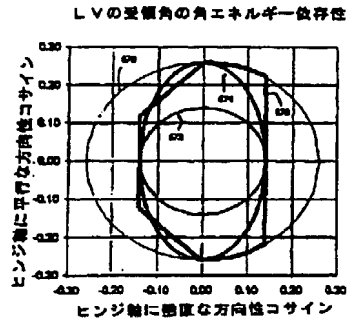


図3 A

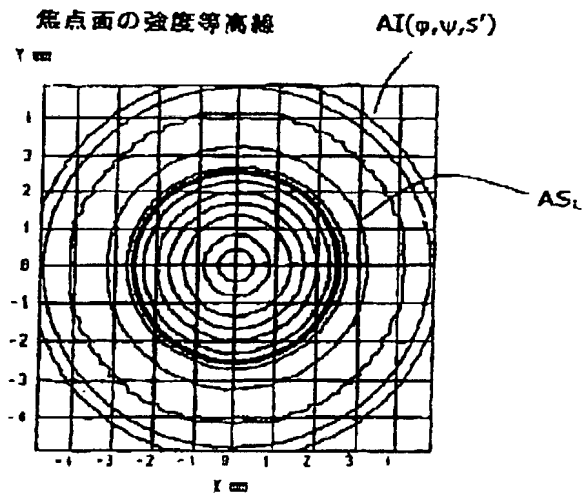
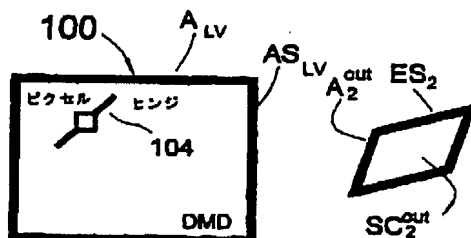
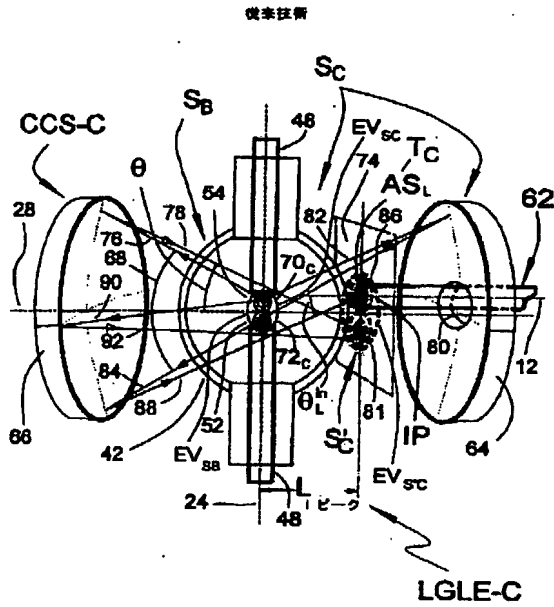


図3 B

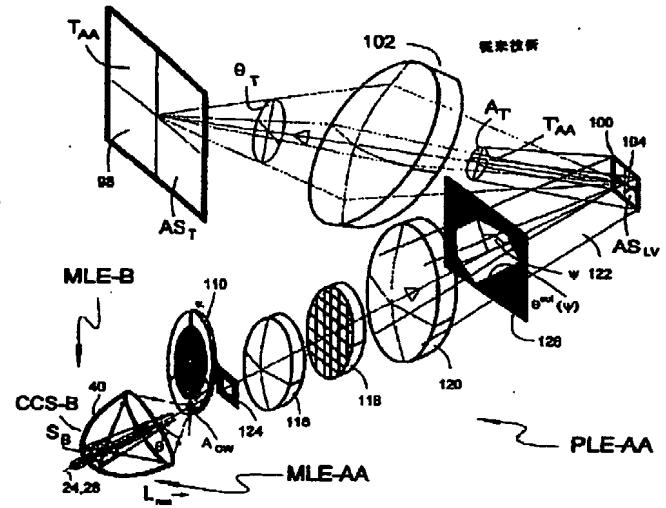
【図23】



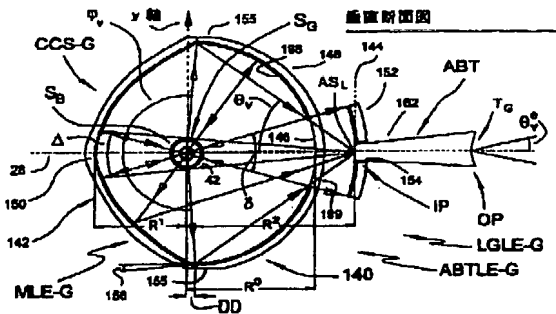
【図 4】



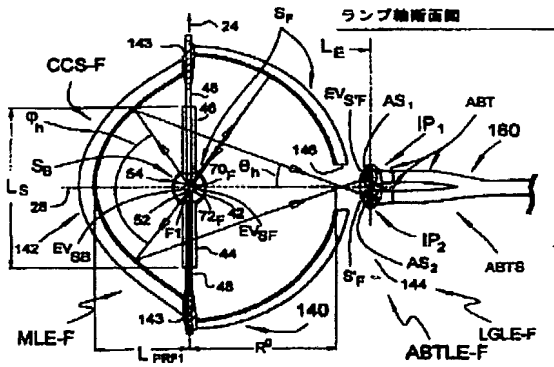
【図 5】



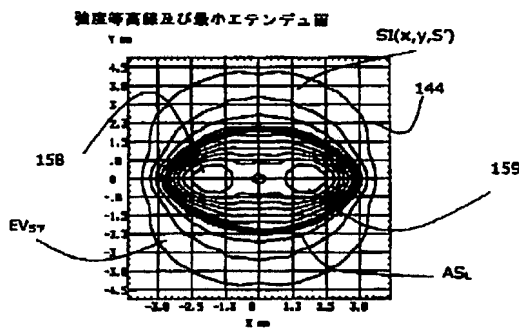
【図 7】



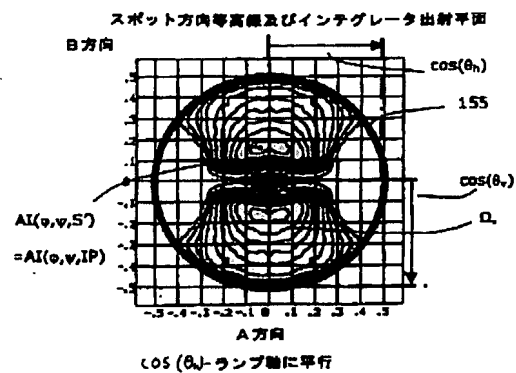
【図 6】



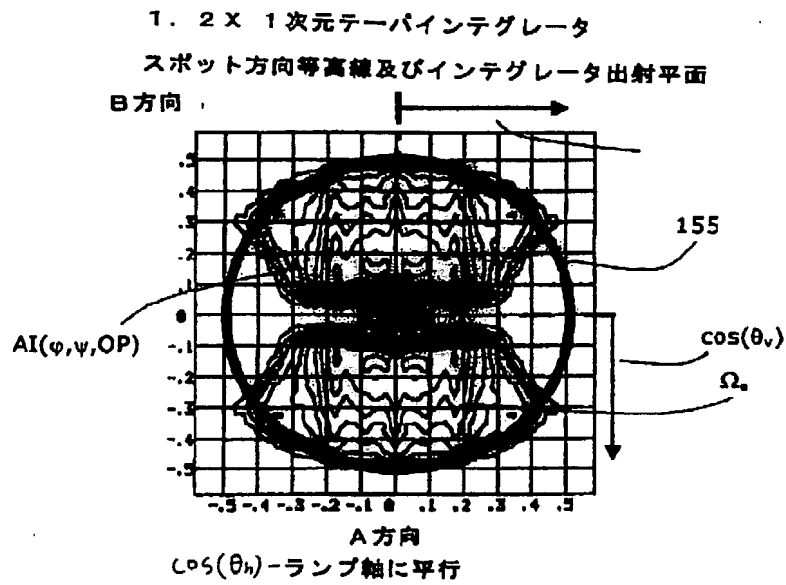
【図 8】



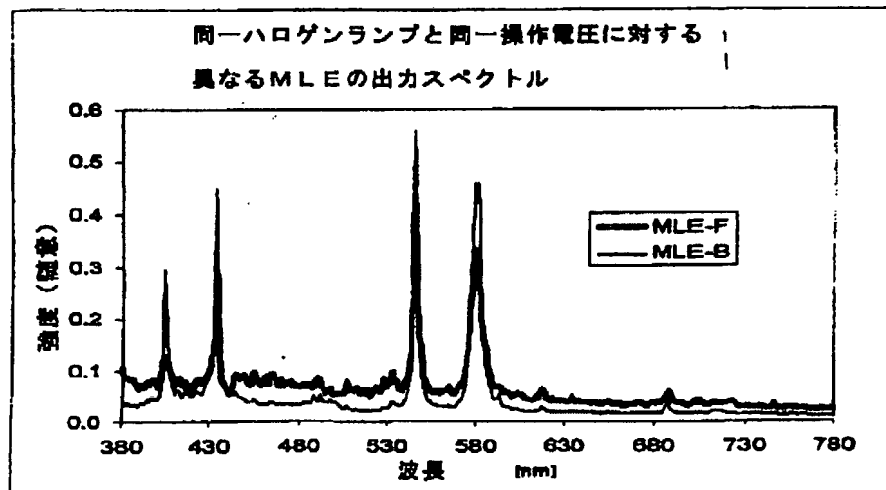
【図 9】



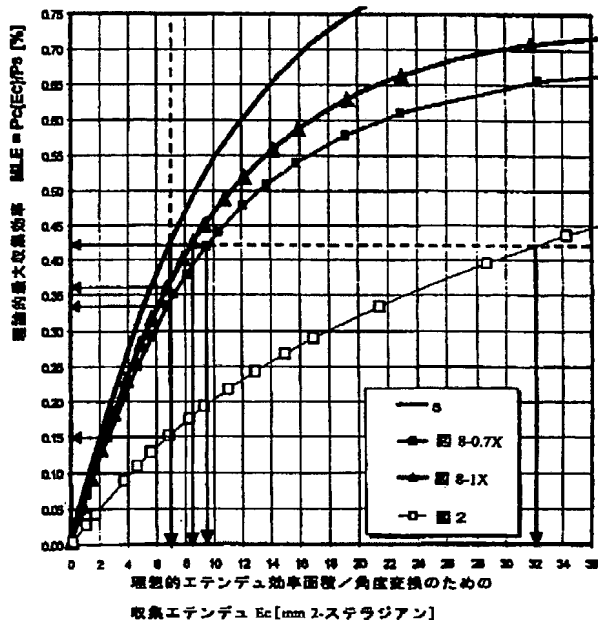
【図10】



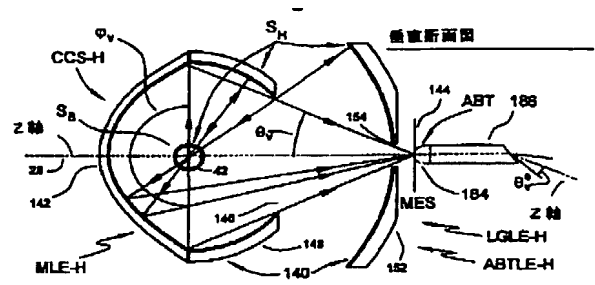
【図11】



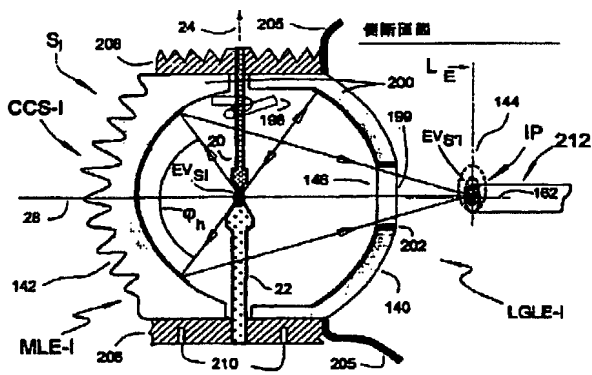
【図12】



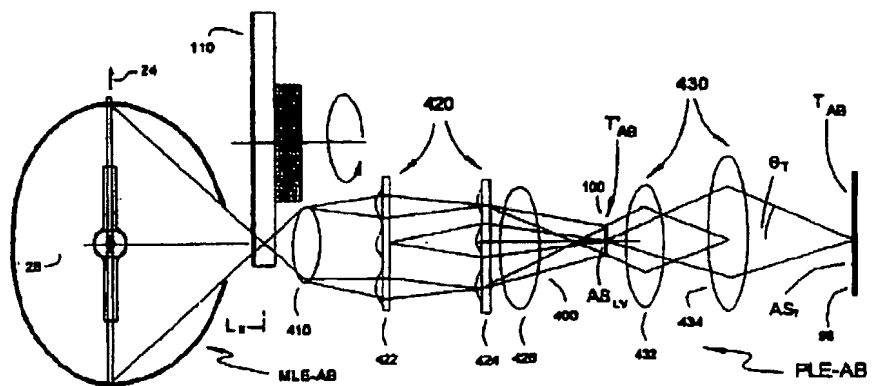
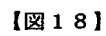
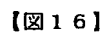
【図13】



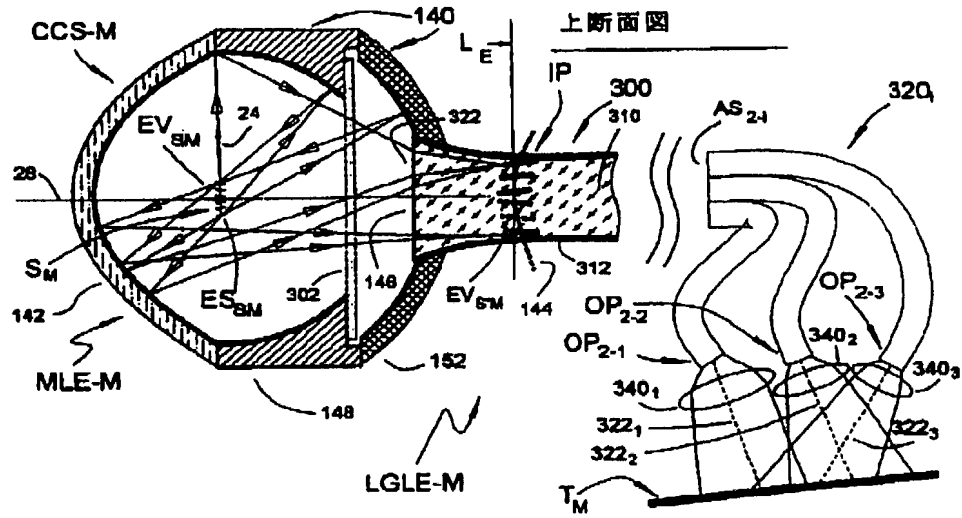
【図14】



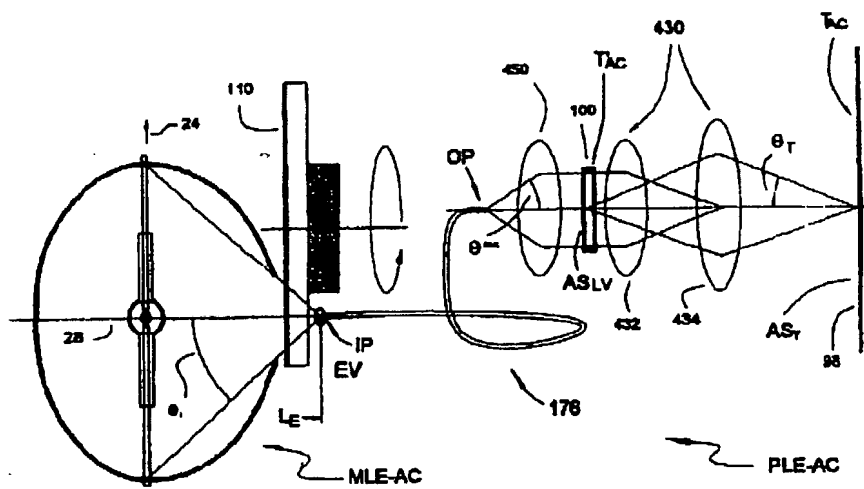
**上新區圖**



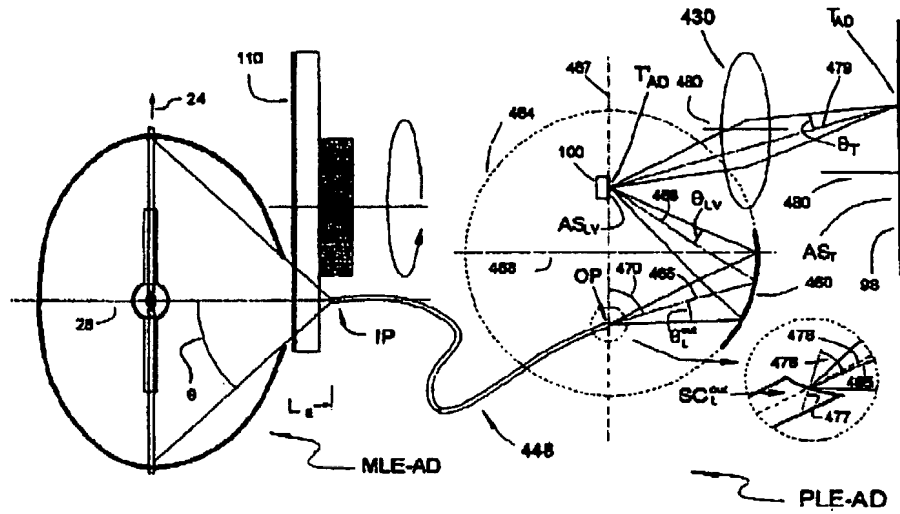
【図17】



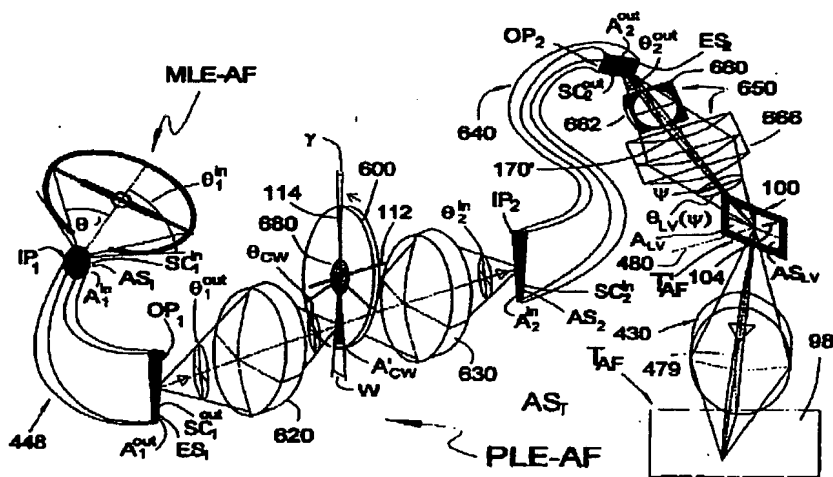
【図19】



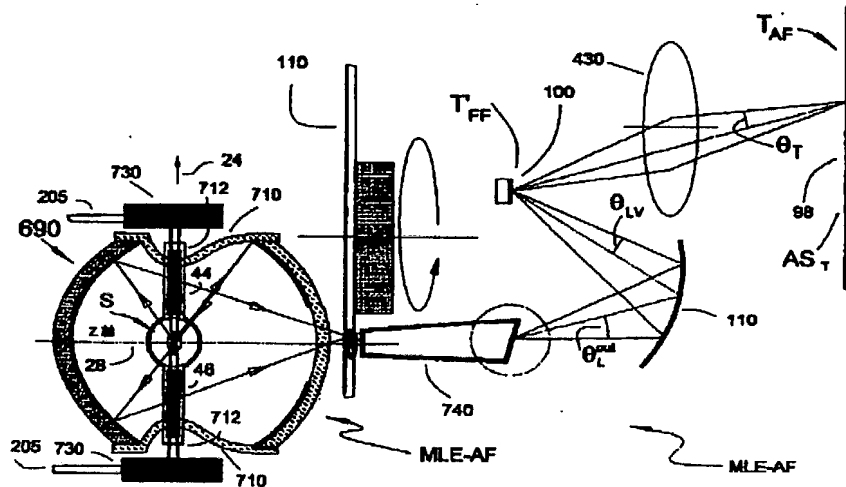
【図20】



【図21】



【図 24】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年6月30日（2000. 6. 30）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0206

【補正方法】変更

【補正内容】

【0206】図17は、所定のABTSとして一体式テーパ型LG300を備えた密閉型反射体ランプSM（LGL E-H、LGL E-I、LGL E-Kと同様）として、導光型光エンジンM（LGL E-M）を概略的に示している。図17の放出源Sの放出エネルギーは、放出面ESSMと幅Wを備え、長方形の断面形状を有し、螺旋を巻き付け可能な程度の薄さで、しっかりと巻き付けた（不透明）タングステン螺旋（三巻で図示）から放出されるように、ここでは示した。この螺旋の光軸24は、システム軸28と直交する方向に配置され、オフセット距離 $D \approx W/2$ （前述のように）を有する。この放出面ESSLの右半球内への放出は、RRS140での反射の後、像を反転した仮想放出版積EVS Mを形成し、EVS Mは、放出面ESSMと対向し、軸28に対して鏡面对称となる。前述のように、必要に応じて、放出面ESSMは、光学系の軸28と直交する平面ではなく、湾曲した所定方向を有し、特に制限されたLEへの伝達効率を改善できる。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0208

【補正方法】変更

【補正内容】

【0208】この発明の前述の好ましい実施例の主な違いは、MES144が、テーパ型LG300の入射面近傍ではなく、その内部に配置されることである。この特別なLG300は、図17において、適切な透過性コア材料310と周りの適切な低反射性クラッド材料層（low refractive cladding material）312を有する単一コア、テーパ型LGとして示した。好ましくはLG300を、中空反射型チューブから構成することもできる。LG300はテーパ型LG断面のような形状を有し、集束させる光ビームの伝達にMES144は干渉しない（コア材料310とLG300の異なる屈折率による標準的な屈折効果を除く）。しかし、MES178の軸位置LEの近傍において、LG300の断面領域は、光ビームの選択した部分（所望の集束面積 $E_c$ に依存する）を、その後LG300が導く断面に（前述のように）移行させる。必要に応じて、LG300の断面形状は、目標の最終的な照射形状または別の光学系へのカップリング（例えば、図17に示したような複数のLG320i）に適した便利な出射形状に徐々に移行する。このような光学系は、湾曲したMES144から面積効率のよい方法で光を捕捉し、図16に示したLGL E-Kと関連付けながら上記に説明したような、非常に特別な入射ポート構成は不要である。

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0212



## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0212】図17に戻ると、さらにLGに基づく光ファイバ照射システムが、最終的にMLEや、特にLGから光を受け取る一つまたは複数のLG320iを備えた概略図に示されており、LG300は特別な例として示した。さらに、これらの第二LG320iの出射ポートOP2-iの光軸322iは、カップリング光学系340iと組み合わせて、選択した最終目標領域で、適切な照度が得られるように配置される。トンネル、塔、舟などを業務上遠隔から照射する場合、これらの概念に基づいて構築され、所望の出射レベルごとに、光伝達の全コストや保守コストを低減できる。

## 【手続補正4】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0214

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0214】図18は、特定の型式のLE、つまり投写スクリーン98上に、透過型構成の目標(transmissive configurable target)(LV100で示される)の画像強度を投写するために用いられるPLE-ABの設計用の、この発明の第1の好ましい実施例を示している。この投写スクリーン98は、所定のPLEの目標TABである。

## 【手続補正5】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0215

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0215】所定のMLE-ABは、図18では基本的なMLE-F型として示した。しかし、この発明の他のMLEの実施例やそれらの変形全てを同様に使用することができる。MLE-ABの軸上の最小面積位置LE近傍に、必要に応じてカラーホイール110を配置し、時分割色ビームを生成し、レンズ410で集束させ、必要に応じてビームの断面形状の変更や均一化を行う光学システム(beam cross sectional shaping/homogenizing optic system)420上に投写する。図18は、このような光学系420の例として、同様のまたは異なる適合対(similar or dissimilar matched pair)として構成された、第1レンズアレイ422と第2レンズアレイ424を示している。システム420を構成する別の方法としては、位相格子または回折レンズ対(phase grating or diffractive lens pair)を使用する。システム420は、LV100でのビーム形状要件に実用上より適合するように、好ましくはビーム400の断面を再成形し、均一化するように設計される。補助集束レンズ426は、照射ビーム400の断面を、LV100の受光面ASLVに適合させるのに役立つ。

## 【手続補正6】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0217

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0217】投写レンズ系430は、LV100の出力を集め、投写スクリーン98上に結像させる。図18に示したように、必要に応じて、レンズシステム430を二つのサブシステム432、434から構成し、サブシステム432をLV近傍に配置して、LV100の出力を集め、サブシステム434をシステム432の結像位置の近傍に配置してもよい。

## 【手続補正7】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0219

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0219】図19は、単一の透過型LV100の画像強度を投写スクリーン98上に投写するために使用されるPLE-AC設計に用いられるこの発明の別の好ましい実施例を示している。PLE-ABとPLE-ACの間の主な違いは、後者が、やや柔軟性を有する高伝達効率LG448を用いて、少なくともエネルギー伝達機能と、領域再成形機能を実施し、色ホイール110は、この発明の好ましいMLE実施例の1つから選択した所定のMLE-ACの軸上最小面積位置のやや前に配置する。カラホイール110の所定時刻での効率を最大にするために、カラーホイールの位置は、好ましくはできるだけ軸上最小面積位置LEに接近させる。

## 【手続補正8】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0220

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0220】LG448の入射ポートIPは、前述のように、好ましくは面積効率のよいエネルギー集束用のMLE-ACに適合させた形状とし、必要に応じてNA対称化補助入射機器(NA symmetrization auxiliary input optic)(ABT)を有し、出射断面は、空間的な強度均一化部分を有する(例えば、長方形に研磨した単一コアの集束ロッド)。また、透過型LVの場合を示した。必要に応じて、偏光感度のよい(polarization sensitive)LV100のために、PCS(図19では示されていない)を、LG448の出射ポートOPとLV100の受光面ASLVの間に容易に挿入でき、所定の入射ポートの集束領域は、約50%まで低減される。

## 【手続補正9】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0222

## 【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0222】図20は、構造化可能な照射目標と中間目標T'ADの例として、反射型LV100を使用する投写光エンジンAD(PLE-AD)の別の好ましい実施例を示している。また、前述のように、面積効率のよいMLE-ADは、特別に適合させた入射ポートIPと出射ポートOPを備えたLG448と共に使用する。凹面軸上または軸外(ここでは軸外として示す)反射体460は、カップリング光学機器として使用し、中間目標T'AD、つまりLV100の受光面ASLVにLG448の出力をカップリングする。例えば、このような反射体460は、出射エネルギー伝搬軸465を方向変換する楕円面464の適切な一部とすることができ、中間目標T'ADの受光方向466と一致させて、出射発散角 $\theta_{\text{LOUT}}$ を、LV100の受光発散角(output divergence angle)  $\theta_{\text{LV}}$ に適合させる。これを実現するために、反射体は、好ましくは図20に示したように軸外位置で使用し、出射ポートOPとLV100は、所定の楕円面464の主軸467上において、各々所定の焦点の近傍で短軸468に対してほぼ対称に配置する。主軸467に対して適切な角度470で、LG448の出射ポートOPを配向させることによって、単一構成要素を使って、所望の画像拡大とNA適合が達成できる。このカップリング光学機器、つまり反射体460の結像誤差を最小にするために、楕円の主軸は、適切な大きさに選択しなければならない。適切なカップリング結果を得るためにより小型化が要求される場合は、補助レンズや反射体(図示せず)を出射ポートOPの近傍で使うことができる。また、この発明の別の実施例では、反射体460を反射型レンズ、つまり片側に適切な反射型被膜を形成したレンズとする。補助レンズまたはレンズ系や反射型レンズは、LEサイズを低減するのに役立つ。

## 【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0223

【補正方法】変更

【補正内容】

【0223】出射ポートOPの右側に、拡大された画像を有するこの発明の別の好ましい実施例が示されており、表面構成SCLOUTは、LG448の放出面ESLの主軸477と、光軸478の間に0°ではない角度476を有する。このことによって、簡単な製造手段、つまり軸478に対して90°ではない角度で、LGの出射ポートOPを研磨することによって、非対称角度依存放出パターンを生成できる。このような偏った(biased)出射ポートは、カップリング光学機器への要求を簡略化し、さらに小型の設計が可能になる。また(図20に示したように)、出射ポートOPの出射面は、適切な湾曲面として、受光面ASLVで平坦な画像面を得ることができる。

## 【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0224

【補正方法】変更

【補正内容】

【0224】再び図20を参照すると、目標照射方向170が斜め方向にあるDMDまたはTMAの反射型LVに適した設計状態が示されている。また、投写レンズ系430を軸外利用して(軸479がレンズ軸480と異なる)、一般的な方向479にあるLVが反射した光を集めて、投写スクリーン98上に結像するように示した。このPLE設計によって、斜め方向の入射角に対して、投写スクリーン98上に、LV強度分布を基本的に補正した画像を生成できる。この斜め方向のスクリーン照射は、照射する投写スクリーンの前面のテーブルに投写装置を配置する、前面投写型の場合は非常によくある状態である。この状態は、斜め方向の角度のより低い位置に取り付けた投写スクリーンを照射するシーリング部取付け型投写装置の場合にもよく見られる。

## 【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0225

【補正方法】変更

【補正内容】

【0225】なお、楕円反射体形状の代わりに、同様の結像機能を実現する他の非球面形状を選択することもできる。例えば、トロイダル反射体は、楕円反射体の良好な近似であることが多く、さらに低コストな眼鏡用製造機械を使って作製できる。また、非球面カップリング系が好ましい場合もあり(図21を参照しながら下記に説明する)、反射体460は、しかるべき修正または、LG448の出射ポートOP近傍の円筒レンズまたは二軸レンズと組み合わせて、PLEの設計制約内で、十分良好な結像系を実現しなければならない。

## 【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0226

【補正方法】変更

【補正内容】

【0226】図21は、PLE-AF用のこの発明の別の実施例を示している。2つのLGを使って、色ホイール600のスルーput効率を改善する。前述のように、面積効率のよいMLE-AFの出力は、第一LG448の入射ポートIP1上に、発散角 $\theta$ で集められる。その入射ポートは全て、全入射面積AS1と、受光角 $\theta_{\text{lin}} \geq \theta$ に対応する有効面積A1outを有する。LG448の出射ポートOP1は、有効表面積A1outの放出面ES1を有する。出射ポートOP1から出射角 $\theta_{\text{1out}}$ で出射する光は、カップリング光学機器620で集められ、集束ビームが、色ホイール600で断面

積 $A'_{cw}$ と、対応する出射角 $\theta_{cw}$ を有するように、色ホイール600上に集束させる。カップリング光学機器630は、色ホイール600を通過した光ビームを集め、第2光ガイド640の入射ポートIP2上に発散角 $\theta_{2in}$ で集束させる。入射ポートIP2は、有効光集束面積 $A_{2in}$ を備えた入射面AS2を有する。出射ポートOP2から出射角 $\theta_{2out}$ で出射する光は、カップリング光学機器650で集められ、LV100の有効受光面ASLV、つまり所定の中間照射目標T'AF上に集束させる。PLEの大きさと重さが非常に重要である、この発明の別の実施例の場合は、カップリング光学機器620または630の一方は、図21に示したPLEから除外することが望ましい。このことによって、PLE-AFの伝達効率DEはやや低下するが、PLEの部品数と大きさも低減できる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0227

【補正方法】変更

【補正内容】

【0227】次に、反射型または透過型LV100（図21では反射型として示した）の出力は、投写レンズ系430で集められ、LV100の出射部の強度分布を拡大した画像を形成する遠方のスクリーン98に投写される。アンドリアヌスH. J. バンデンプラントへの米国特許第4969730号で説明されている全内部反射型プリズムと同様の特別な光学カップリング要素650と、米国特許第5022750で説明されているカップリング光学機器を使用することもできる。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0228

【補正方法】変更

【補正内容】

【0228】クリティカル照射方式(critical illumination scheme)（LV100が図21に示したような中間目標である）は、伝達効率を最大にするのに好ましいが、ケーラー照射方式（投写レンズシステム430の入射ビューピル(entrancepupil)に焦点を合わせるもので図21には示されていない）または中間的方式（図5参照）を同様に使用して、この発明においてPLEの設計制約と伝達効率のバランスを取ることができる。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0229

【補正方法】変更

【補正内容】

【0229】なお、PLE-AC（図19）とPLE-AD（図20）は、PLE-AFを簡略化した変形版（LGを減らした）であり、エネルギー集束および伝達

システムの一部としてLGを1つしか使用しない。好ましいPLE設計方式の下記の説明は、前述のように、カップリング光学機器620または630を1つしか使用しない、PLE-AB、PLE-AC、PLE-AD、PLE-AFの場合にも適用する。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0230

【補正方法】変更

【補正内容】

【0230】なお、ほとんどのPLE設計の場合、角度 $\theta_{1out}$ 、 $\theta_{cw}$ 、 $\theta_{2out}$ は軸対称、つまり所定のアジマス(azimuth)角 $\Psi$ には依存しない。しかし、LG448、640が各々のエネルギー伝達軸に直交して終端されない場合は、各受光角と放出角はやや軸非対称性を示し、この発明のいくつかの好ましい実施例で（図20参照）使用して、さらにLE設計を簡略化し、改善できる。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0231

【補正方法】変更

【補正内容】

【0231】必要に応じてカップリング光学機器620、630を備えたLGガイド448を使用して、色ホイール600の所定時刻の効率をさらに改善できる。一般に、各LGの入射ポートIPと出射ポートOPの表面構成SC<sub>in</sub>、SC<sub>out</sub>は、異なる光学要素の間のカップリングを最適化するように選択する。さらに、図21を参照すると、領域再変換を行う主要な機会が、少なくとも2つまたは4つある。まず、LV100の入射面ASLVへの出射ポートOP2のカップリングを説明する。次に、ポートOP1、IP2と色ホイール600の間のカップリングを説明する。MLE-AFと、適合させたLG448の入射ポートの間のカップリング最適化は、すでに上記で説明している。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0234

【補正方法】変更

【補正内容】

【0234】図21に示したように、この発明の別の好ましい実施例では、光出射ポートOP2とLV100の間のカップリング（伝達効率DE）が最適化されるように、出射ポートOP2の表面構成SG<sub>2out</sub>を選択する。なお、例えばDMDやTMAといった、いくつかの型式のLV100の場合、平均的な入射エネルギー方向は、受光面ASLVの主軸480と平行ではない。これらの場合、好ましい光学機器650は、“シャインプフルーク(Scheinpflug)”型とし、つまりその光軸、所定

の放出面ES2、受光面ASLVは、受光面ASLVにおいて、結果的に拡大された放出面AS2の画像が、面全体で同じ集束レベルとなるように、間隙を介して配置する。こうして、焦点が受光面ASLVの後ろにある、つまり非クリティカル照射方式の場合でも、均一な照射強度とする。さらに、図21に概略的に示したように、光学的優先軸104に向けた結像用ABTSとして機能する、2つの直交する円筒レンズ664、666を使用する場合、好ましい横倍率M(Ψ)と光カップリング機器650の対応する角度変化は、角度方向φによって異なるものとなる。従って、この発明の好ましい実施例は、一般に軸非対称またはアナモルフィック・カップリング光学機器650を利用して、角度放出分布 $\theta_{2out}$ (Ψ)を決定する所定の種類のアジマス角φを有するビームを、LV100の所望の受光関数 $\theta_{LV}$ (Ψ)にできるだけ適合させた角度エネルギー密度関数を有するビームに変換する。この方法の場合、マスク660は、利用可能なエネルギーの最小量だけを必要に応じて切り取り、PLE-AFの伝達効率を最大にする。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0235

【補正方法】変更

【補正内容】

【0235】図22は、異なるアジマス角Ψに対して、出射ポートOP2から受光面ASLVへの照射ビーム・カップリング・エネルギーの最大受光分布 $\theta_{LV}$ (Ψ)を決める概略図を示しており、縦軸は光学的優先軸104に平行である。大きな円670と小さな円672は、最大受光角 $\theta_{LV}$ (Ψ) =  $\theta_{LV}$ が、各々 $\theta_{LV} = 15^\circ$ と $\theta_{LV} = 10^\circ$ であるビームを表している。縦軸で大きな円670に隣接し、横軸で小さな円672に隣接する楕円674は、DMD型またはTMA型のLV100の照射効率を改善するための、この発明の最大受光角 $\theta_{LV}$ (Ψ)を決定する好ましいアジマス角φである。例えば、この楕円型のアジマス角関数674は、異なる横倍率、つまり $M(\Psi = 90) = 1.89 \cdot M(0)$ を有して直交する2つの円筒レンズ662、666を使用して、軸対称(または前述のような非対称)LG出射ビームを2軸結像させる。なお、楕円形状674は、米国特許第5442414号のDMD型光バルブに対して説明した投写マスク675の大きさと機能に関係している。しかし、この発明の前述の好ましい実施例は、非対称マスクを全く使用せず、より高いスループット効率を有する。従って、所定の状況下では、カップリング光学機器650の前述の好ましい実施例は、マスク660を完全に不要にできる。このことによって、LVの機能上の要件、つまり光学的優先軸104と交差する方向のエネルギー伝達を低減し、散乱と関連するコントラスト損失を最小にしながら、カップリング光学機器650の伝達

効率DEを最大にする。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0236

【補正方法】変更

【補正内容】

【0236】受光面ASLVで照射ビームの断面形状を適合させるために、出射面AS2は、カップリング光学機器650の倍率M(Ψ)に逆比例させて事前に歪めたLV面の断面に適合させなければならない。さらに正確には、所定の面の法線方向によって異なる平均エネルギー伝搬を有することから生じる歪みの影響もさらに考慮して、理想的な断面を見出して、出射面AS2を事前に歪ませる必要がある。図23は、近似として、表面の湾曲の影響と、表面の法線方向480に対する傾きを無視し、受光面ASLVの断面の相対的な大きさと形状、およびLGガイド放出面ES2を適合させたものを示している。ES2の好ましい大きさと形状を計算するために、次のように角度を仮定する。表面ASLVの最大半円錐受光角(maximum half cone acceptance angle)は、光学的優先軸104に対して平行に $15^\circ$ 、垂直に $10^\circ$ とし、表面ES2の軸対称放上半円錐角は、 $\theta_{2out} = 30^\circ$ とする。なお、これらは結果的に、図22の楕円676と同じ仮定となる。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0238

【補正方法】変更

【補正内容】

【0238】LV100の受光面ASLVでの照射ビームの空間均一性を向上させるために、いくつか別の方法が考えられる。その別の設計方法のいくつかは、すでに上記に説明したが、LGの構成に関連するものである(入射ファイバと出射ファイバをランダム化する、LG端部近傍でのクロストークを低減するなど)。2つ以上のLGを直列にカップリングすることによって、低空間周波数での強度変化を簡単に低減できる。高空間周波数での強度変化を低減するために、カップリング光学機器650はやや焦点を外して使用するように設計する。光学機器の設計や放出面ES2の湾曲を適切にすることによって、平面照射に対するローパス・フィルタ効果も実現できる。さらに、補助光学要素を出射ポートOP2に追加し、ローパス・フィルタ要素として機能させることもできる。このようなローパス・フィルタ要素の例には、所定の適切な断面を備え、必要に応じて、より低い発散角 $\theta_{2out}$ を備えたより大きな放出領域にテーパ状に移行する、中空反射チューブや単一のクラッド・ロッドがある。カップリング光学機器650に追加できる他の光学要素としては、ビームの一部を他の部分に対して横方向に移動させるモアレフィルタ部材がある。位相格

子、回折光学素子、制御した拡散板などを使用して、所望の効果を実現することもできる。現在の製造方法を使用すると、適切に設計された光学機器650の各光学素子は、一度にいくつかの機能を提供できる。例えば、横方向の拡大や関連する角度変更機能を実現するほかに、これらの部材は、必要に応じて、ローパス・フィルタ処理機能、制御された拡散機能、マスク機能なども実現できる。さらに、PLEパラメータ制約が許されれば、カップリング光学機器650は単一の透過型要素とすることが望ましい。図20に示した反射体460と同様に、このようなレンズを簡単な反射型としたり、反射型、回折型、位相格子(phase grating)の組み合わせとすることもできる。

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0239

【補正方法】変更

【補正内容】

【0239】図21は、この発明を使用した特別な設計解であって、非常に狭い照射ビームと同様の大きさの集束LGを提供することによって、色ホイール600の高スループット効率TECWを最適化したものを示している。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0240

【補正方法】変更

【補正内容】

【0240】例えば、図19、20に示したPLE-A、PLE-ADの場合のように、所定のMLEは、第2放出体積EVS'の断面の長軸が、色ホイールの軸112に対して半径方向に配置されるように、色ホイール600に対して配置することが望ましい。好ましくは、色ホイール600は、軸位置LEのやや前方で放出体積EVS'と交差し、LG448の入射ポートIP2は、適切な方法で放出体積EVS'から光を集めるように構成される。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0241

【補正方法】変更

【補正内容】

【0241】再び図21を参照すると、このように、表面構成SC1<sup>out</sup>、SC2<sup>in</sup>の設計構成の選択によって、タイミング効率(timing efficiency)TECWにお

ける利得や、色ホイール600の領域効率(area efficiency)AEの間での選択が可能となる。この発明を使用することによる新しい設計自由度は、全投写表示システムの効率や製造コスト面と共に、小型化や携帯性を最適化する新しい柔軟性を、PLE設計者に与える。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0242

【補正方法】変更

【補正内容】

【0242】図24は、この発明に基づいてさらに簡略化したPLEを示している。MLE-AFは、密閉型または準密閉型キャビティ(quasi-sealed cavity)690として示されており、放出源の軸24に沿って2つの対向する立体的な凹み710を備えた外側容器を構成し、ランプポスト44、46のシール712は、凹み710を介してキャビティ690の外側に伸びている。ヒートシンクあるいは放熱部730は、シール712の近傍のランプポスト端部に取り付けるように示されており、これらの冷却に役立つ。リード線205は、ランプポスト44、46の内部に組み込まれた電極に電流を送る。このような好ましいMLE-AFは、所定の反射体高さについて説明した放出源の遮蔽と出射ポートの損失の両方を低減でき、内側容器42と熱的に分離させて、ランプポストシール712へのアクセスを容易にする。この方法の場合、内側容器は、容器42の材料制約による可能な上限動作温度近傍で使用する事ができ、同時にMLE-B型設計で通常可能な温度範囲以下に両方のランプポストシール712を保持できる。従って、この二重容器型システムは、長寿命のランプ/反射体システム構成するのに役立つ。必要に応じて、キャビティ690の内部体積を排気し、ゲッタ材料を使用して不純物を吸収し、キャビティ690の適切な位置の穴(図24には図示せず)から、ブロー時に強制的に入れた空気による内壁の汚染を取り除き、内側容器42を最適な範囲まで小さくする。PLE-AFも、長方形の非対称テーパ型集束ロッド740を有するように示されており、集束ロッド740は、ABTSとして機能し、図21と関連させて説明したように、角度的に対称化した出射ビームまたは非対称ビームのどちらか一方を提供する。また、LG740の出射ポートは、LV100の異常入射モードを“シャインブランク”補正する。投写光学系は、軸外モードで使用するように示されており、固定された出射角方向に対して主要な補正を行う。

(62)

特開 2 0 0 1 - 4 2 4 3 3

フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 19/00

// F 2 1 Y 101:00

識別記号

F I

G 0 2 B 19/00

テーマコード (参考)